

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกกุ้งและกระดองปู



T107825



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...107825
วัน,เดือน,ปี...14 พ.ค. 2553

b. 1221182A
i.....

โครงการพิเศษที่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Copper Adsorption in Synthetic Wastewater by using Shrimp and Crab Shells.



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

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกกุ้งและ
กระดองปู

Copper Adsorption in Synthetic Wastewater by using Shrimp
and Crab Shells

โดย

นางสาวจิรัชยา ปรีชาเชี่ยว

นางสาวนะโม ศิริมงคลลาวัลย์

นางสาวแก้วกานต์ ปิยะนันท์

ภาควิชา

เคมี




สาขาวิชา

เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล

ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

กรรมการ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
กรรมการ ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	
กรรมการ รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล	

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาคเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกกุ้งและกระดองปู	
นักศึกษา	จิรัชยา	ปรีชาเชี่ยว
	นะโม	ศิริมงคลลาวัลย์
	แก้วกานต์	ปิยะนันท์
ภาควิชา	เคมี	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2549	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกกุ้งและกระดองปูเป็นวัสดุดูดซับ โดยนำเปลือกกุ้งและกระดองปูมาล้างน้ำให้สะอาดแล้วแช่ลงในสารละลาย 10% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาดแล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำมาบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบด จากนั้นนำไปร่อนให้ได้ขนาดตามที่ต้องการในการศึกษานี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ในการทดลองขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกกุ้งและกระดองปู โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน และ เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ขั้นที่สองเป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ ขนาดโดยแปรค่าเป็น เปลือกกุ้งที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 35-100 และ 100-200 เมช และ กระดองปูที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 35-100 และ 100-200 เมช ตามลำดับ ปริมาณตัวดูดซับโดยแปรค่าเป็น 1, 2, 3 และ 4 กรัม ตามลำดับ พีเอช โดยแปรค่าเป็น 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ ระยะเวลาในการดูดซับแปรค่าเป็น 3, 5 และ 7 ตามลำดับ และไอโซเทอมโดยแปรค่าเป็น 1, 3, 5 และ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ขั้นที่ 3 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้งและกระดองปู โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปรับสภาพตามสภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองในขั้นที่สอง

จากการศึกษาพบว่า กระดองปูมีความเป็นรูพรุนมากกว่าเปลือกกุ้ง วัสดุทั้งสองชนิดนี้มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก โดยกระดองปูจะมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบหลักมากกว่าในเปลือกกุ้ง การหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ขนาดที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้ง และ กระจดองปู คือ ขนาด 100-200 เมช ปริมาณของเปลือกกุ้ง และ กระจดองปู ที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้ง และ กระจดองปู คือ 4 กรัม พีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้ง และ กระจดองปู คือ พีเอช ≥ 5 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้ง และ กระจดองปู คือ 7 ชั่วโมง และ ค่าไอโซเทอมที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้ง และ กระจดองปู คือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้อัตราในการเขย่าคงที่ คือ 150 รอบต่อนาที ส่วนประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้งและกระจดองปูเท่ากับ 69.30 และ 76.18 ตามลำดับ โดยกระจดองปู มีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีกว่าเปลือกกุ้ง

คำสำคัญ : ทองแดง การดูดซับ เปลือกกุ้ง กระจดองปู



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title **Copper Adsorption in Synthetic Wastewater by using Shrimp and Crab Shells.**

Name **Jiratthaya Preechachaiw**

Namo **Sirimongkonlawan**

Keawkarn **Piyanan**

Department **Chemistry**

Faculty **Science**

Program **Environmental Resource of Chemistry**

Academic Year **2006**

Special Project Advisor **Assoc. Prof. Dr. Nipon Wongvisetsirikul**

ABSTRACT

This project studied on adsorption efficiency of copper from the synthesis wastewater using shrimp and crab shells. Shrimp and crab shells were cleaned in distilled water. subsequently soaked them in hydrogen peroxide for 1 hour and washed with distilled water and then dried in oven at temperature 103°C for 1 hour. Dry shrimp and crab shells were contained in desiccator until cooled them to room temperature. Dry shrimp and crab shells were finely ground with grinding machine and then collected size by sieve.

The experiments were classified into three parts; At the first, physical and chemical structures of shrimp and crab shells were studied by using a scanning electron microscope [SEM], X-ray diffraction [XRD] and X-ray fluorescence [XRF]. Secondly, optimum conditions of adsorbents were studied in terms of size of shrimp and crab shrimp shells were 35-100 mesh and 100-200 mesh; amount of adsorbents were 1,2,3 and 4 grams; pH parameters were 3,5,7 and 9 ; contact times were 3,5 and 7 hours, isotherms were 1,3,5 and 7 miligrams per liter, respectively. Finally , the absorption efficiency of shrimp and crab shells were studied in a synthetic wastewater at suitable conditions.

From the experiment found that crab shell had higher porosity than shrimp shell.

composed of calcium carbonate which crab shells had more calcium carbonate than shrimp shells.

The optimum conditions for copper absorption efficiency in synthesis wastewater were sizes about 100-200 mesh; amount of each absorbent was 4 grams; $\text{pH} \geq 5$; contact time for 7 hours; isotherms absorption of shrimp and crab shells were 5 mg/L; at 150 rpm. Absorption efficiency of copper were 69.30 and 76.18 for shrimp and crab shells, respectively. Which the absorption efficiency of copper show that crab shells had better than shrimp shells in synthesis wastewater.

Keyword : Copper Adsorption , Shrimp Shell , Crab Shell



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดีในครั้งนี้ เนื่องมาจากความช่วยเหลือ และความกรุณาจากอาจารย์ทุกท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล ที่คอยดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิด และให้คำปรึกษาตลอดเวลา ตลอดจนให้คำแนะนำในเรื่องการทำรายงานจนโครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัยที่ได้ให้คำแนะนำในเรื่องการทำรายงาน และคำติชมต่างๆ และ ผศ.ดร. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ที่ได้ให้คำแนะนำในการทำการทดลองจนทำการทดลองได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งท่านอาจารย์ภาคเคมีทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านวิชาการมรตลอด 4 ปี เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการทำโครงการพิเศษนี้ และสามารถนำไปใช้ในการทำงานในอนาคตต่อไปได้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม เจ้าหน้าที่ห้องของอาคารปฏิบัติการเคมีพอลิเมอร์ ที่ให้ใช้เครื่องบด และ เครื่องร่อนในการแยกขนาดสำหรับโครงการพิเศษนี้ และเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมีทุก ๆ ท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านอย่างเต็มที่

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และบุคคลในครอบครัวที่ได้ให้ความรัก ความเข้าใจ และคอยเป็นกำลังใจตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งขอขอบใจเพื่อน ๆ ในสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาที่ดีตลอดการทำโครงการพิเศษฉบับนี้

คณะผู้จัดทำสำนึกในพระคุณของทุกท่าน และถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณทุก ๆ ท่าน ที่ให้ความกรุณา ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา คำแนะนำที่ดีสำหรับโครงการพิเศษมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

จิรัชยา ปรีชาเชียว
นะโม ศิริมงคลลาวัลย์
แก้วกานต์ ปิยะนันท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย	4
2.2 โลหะหนัก	12
2.3 เปลือกกุ้งและกระดองปู	18
2.4 ไคตินและไคโตซาน	18
2.5 คุณสมบัติของไคตินและไคโตซาน	20
2.6 การประยุกต์ใช้ไคติน และไคโตซาน	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	
1.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	30
1.2 วิธีการทดลอง	31
3.2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง	31
3.2.2 การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกกุ้งและกระดองปู	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
3.2.3	ศึกษาผลของขนาดของเปลือกกุ้งและกระดองปูที่มีผลต่อการดูดซับ	31
3.2.4	ศึกษาผลของปริมาณของตัวดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับ	32
3.2.5	ศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับ	32
3.2.6	ศึกษาผลของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับ	33
3.2.7	ศึกษาผลของค่าไอโซเทอมที่มีผลต่อการดูดซับ	33
3.2.8	ศึกษาความสามารถในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล		
4.1	ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของเปลือกกุ้งและกระดองปู	35
4.1.1	ผลการศึกษาความเป็นรูพรุนของกระดองปูและเปลือกกุ้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน	36
4.1.2	ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกและองค์ประกอบของกระดองปูและเปลือกกุ้งด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน	36
4.1.3	ผลการศึกษาร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกุ้งและกระดองปูเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	40
4.2	ผลการศึกษาทฤษฎีที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกกุ้งและกระดองปู	42
4.2.1	ผลการศึกษานาฬิกาที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งและกระดองปู	42
4.2.2	ผลการศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งและกระดองปู	43
4.2.3	ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งและกระดองปู	43
4.2.4	ผลการศึกษาเวลาที่ที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งและกระดองปู	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.5 ผลการศึกษาค่าไอโซเทอมที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง ในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งและกระดองปู	45
4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้งและกระดองปู ในน้ำเสียสังเคราะห์	49
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 คุณสมบัติของเปลือกกุ้งและกระดองปู	50
5.2 สภาพที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้งและกระดองปู	50
5.3 ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้งและกระดองปูโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์	51
5.4 วิจารณ์ผลการทดลอง	51
5.5 ข้อเสนอแนะ	53
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก กราฟมาตรฐานของสารละลายทองแดง	56
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการทดลอง	57
ภาคผนวก ค การเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงและน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง	67
ภาคผนวก ง มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม	68
ภาคผนวก จ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	73
ภาคผนวก ฉ SOLUBILITY PRODUCTS (K_{sp}) at 25 ° C	83
ภาคผนวก ช การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลศักย์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์โทรมมาตรฐานของทองแดง	16
ตารางที่ 2.2 การประยุกต์ใช้โคตินและโคโตซาน	22
ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของกระดองปูเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	41
ตารางที่ 4.2 แสดงผลจากการศึกษาไอโซโทมของเปลือกกุ้ง	46
ตารางที่ 4.3 แสดงผลจากการศึกษาไอโซโทมของกระดองปู	46
ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงผลของขนาดของกระดองปูและเปลือกกุ้งต่อการดูดซับ ทองแดงในน้ำเสียดังเคราะห์	55
ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงผลการศึกษาปริมาณตัวดูดซับทองแดงในน้ำเสียดังเคราะห์	56
ตารางที่ ข.3 ตารางแสดงผลของค่าพีเอชต่อการดูดซับทองแดงในน้ำเสียดังเคราะห์	58
ตารางที่ ข.4 ตารางแสดงผลของเวลาในการสัมผัสต่อการดูดซับทองแดงในน้ำเสียดัง สังเคราะห์	60
ตารางที่ ข.5 ตารางแสดงผลของค่าไอโซโทมต่อการดูดซับทองแดงในน้ำเสียดังเคราะห์	61
ตารางที่ ข.6 ตารางแสดงผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียดัง สังเคราะห์	64
ตารางที่ 1-จ เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างกลีองจุลทรรศน์แบบแสง กับแบบอิเล็กตรอน	75
ตารางที่ 1-ฉ แสดงค่าคงที่การละลายที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบLangmuir	9
รูปที่ 2.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบFreundlich	11
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของไคตินและไคโตซาน	20
รูปที่ 4.1 ลักษณะกระดองปูที่ผ่านการบดและแยกขนาดแล้ว	35
รูปที่ 4.2 ลักษณะของเปลือกกุ้งที่ผ่านการบดและแยกขนาดแล้ว	35
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะความเป็นรูพรุนของเปลือกกุ้ง และกระดองปู ที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน	36
รูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ห้วงศ์ประกอบทางเคมีในเปลือกกุ้งเทียบมาตรฐาน Calcite (CaCO ₃) ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน	37
รูปที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ห้วงศ์ประกอบทางเคมีในกระดองปูเทียบมาตรฐาน Calcite (CaCO ₃) ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน	38
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงมาตรฐานของ Calcite (CaCO ₃) ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน	39
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ของเปลือกกุ้ง	42
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ของเปลือกกุ้งและกระดองปู	43
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ของเปลือกกุ้งและกระดองปู	44
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ของเปลือกกุ้งและกระดองปู	45
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ ความเข้มข้นสมดุลของทองแดงที่เหลือของเปลือกกุ้ง	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ ความเข้มข้นสมมูลของทองแดงที่เหลือ ของกระดองปู	47
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้งและกระดองปู ในน้ำเสียสังเคราะห์	49
รูปที่ 1-จ แสดงการเปรียบเทียบ โครงสร้างกล้องจุลทรรศน์แบบแสง กับแบบอิเล็กตรอน	73
รูปที่ 2-จ แผนภาพเบื้องต้นของระบบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	75
รูปที่ 3-จ ภาพตัดขวางของคอลัมน์กล้องจุลทรรศน์แบบ SEM รุ่น 32CF ของบริษัท JEOL	76
รูปที่ 4-จ ลักษณะและองค์ประกอบของเครื่อง XRFs	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาใช้เพื่ออำนวยความสะดวกซึ่งของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตจะก่อให้เกิดปัญหาในระบบสิ่งแวดล้อม ทั้งดิน น้ำ อากาศ โลหะหนักนับเป็นสารพิษชนิดหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ การปนเปื้อนของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือจากการกระทำของมนุษย์ เมื่อโลหะหนักปนเปื้อนในแหล่งน้ำจะทำให้เกิดปัญหามลพิษในแหล่งน้ำนั้น กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณโลหะหนักมากจะเกิดเป็นพิษเฉียบพลันต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ถ้ามีน้อยก็จะทำให้เกิดเป็นพิษเรื้อรังหรือพิษสะสมในสิ่งแวดล้อม เช่น สะสมในสัตว์น้ำและสะสมในพืช เมื่อมนุษย์บริโภคสัตว์และพืชเป็นอาหาร ทำให้เกิดการสะสมในร่างกายซึ่งก่อให้เกิดอันตรายได้

ทองแดงเป็นส่วนประกอบตั้งต้นในการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น โรงงานผลิตเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ โรงงานแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมสายไฟ เป็นต้น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวที่มีทองแดงปนเปื้อนอยู่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมสูง ดังนั้นการกำจัดทองแดงออกจากน้ำเสียสามารถช่วยลดการปนเปื้อนจากโลหะหนักชนิดนี้ได้

วิธีการบำบัดโลหะหนักมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchanger) หรือการแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง (electrodialysis) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีจะมีประสิทธิภาพและข้อจำกัดในการใช้แตกต่างกัน บางวิธีมีกระบวนการที่ซับซ้อน ทำการดูแลรักษายาก และเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและค่าใช้จ่ายต่ำ ดูแลง่าย ในโครงการพิเศษนี้จึงเลือกใช้วิธีดูดซับมาบำบัดการปนเปื้อนของทองแดง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวกลางในการดูดซับ 2 ชนิด คือ เปลือกกุ้งและกระดองปู ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง และมีสมบัติในการดูดซับโลหะหนักได้ดี มีความเป็นพิษต่ำ หาได้ง่าย ราคาถูก นอกจากนี้ยังศึกษาถึงสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง เพื่อให้การบำบัดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อที่จะพัฒนาให้ใช้กับการดูดซับโลหะหนักอื่น ๆ ต่อไปในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกกุ้งและกระดองปู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพื่อศึกษาการนำวัสดุที่ได้จากธรรมชาติมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย
3. เพื่อศึกษาการบำบัดโลหะหนัก คือ ทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ตัวกลางในการดูดซับ 2 ชนิด คือ เปลือกกุ้งและกระดองปู
4. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ตัวกลางทั้งสอง
5. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงออกจากรน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ตัวกลางทั้งสอง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกกุ้งและกระดองปู โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope, SEM) , เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffraction, XRD) และ เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)
2. ศึกษาการดูดซับทองแดงออกจากรน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ตัวกลางในการดูดซับ 2 ชนิด คือ เปลือกกุ้งและกระดองปู
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงโดยใช้เปลือกกุ้งและกระดองปู
 - 3.1 ศึกษาขนาดของเปลือกกุ้งและกระดองปูที่เหมาะสมในการดูดซับโดยแปรค่าขนาดเป็น 35 – 100 และ 100 – 200 เมช
 - 3.2 ศึกษาปริมาณของตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับ โดยแปรค่าปริมาณของตัวดูดซับ 1, 2, 3 และ 4 กรัม
 - 3.3 ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโดยแปรค่าพีเอชเป็น 3, 5, 7 และ 9
 - 3.4 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ โดยแปรค่าเวลาเป็น 3, 5 และ 7 ชั่วโมง
 - 3.5 ศึกษาค่าไอโซเทอมที่เหมาะสมในการดูดซับโดยแปรค่าเวลาเป็น 1, 3, 5 และ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ ตัวดูดซับที่ใช้ศึกษา ได้แก่ เปลือกกุ้งและกระดองปู
5. วิเคราะห์ปริมาณทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์และทองแดงที่เหลืออยู่หลังจากการดูดซับด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ที่ความยาวคลื่น 384.2 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำวัสดุที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง เช่นเปลือกกุ้งและกระดองปู มาใช้ประโยชน์ในการบำบัดโลหะทองแดงที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย
2. ทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงในน้ำเสียของตัวดูดซับแต่ละชนิด
3. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง โดยใช้เปลือกกุ้งและกระดองปู
4. นำสภาวะที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับโลหะหนักอื่น ๆ ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมได้
5. เป็นการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย (ชุตินา,2543)

กระบวนการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียมียหลายวิธีการพิจารณาเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติน้ำเสียก่อนบำบัด คุณภาพน้ำที่ต้องการหลังจากการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ ดังนี้

1. การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation)

เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันกระบวนการนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสภาพของต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในรูปสารละลายให้เป็นสารที่อยู่ในรูปไม่ละลาย โดยวิธีการเติมสารเคมีผสมกับน้ำเสียให้ทั่วถึง ซึ่งการตกตะกอนด้วยสารเคมีมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักมีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ และการตกตะกอนซัลไฟด์

2. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

กระบวนการนี้อาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือถูกจับโดยเรซินไม่เท่ากันในการแยกโลหะหนักออกจากสารละลายโดยสารที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนซึ่งมาจากทั้งธรรมชาติ และสังเคราะห์ขึ้น จะมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงข้าม เหมาะสำหรับการกำจัดโลหะที่มีปริมาณน้อยและมีประสิทธิภาพสูง

3. การออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse osmosis)

เป็นการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียโดยใช้หลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนซึ่งจะให้เฉพาะตัวทำละลายผ่าน เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้นขึ้นจะต้องใช้ความดันสูงโดยอาจสูงกว่า 100 บรรยากาศ

4. การระเหย (Evaporation)

เป็นวิธีการง่ายๆ ทำโดยระเหยน้ำออกทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น มีทั้งการระเหยที่ความดันบรรยากาศและการระเหยภายใต้สุญญากาศ ให้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูงๆ เท่านั้น เป็นวิธีการที่ใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง

5. อิเล็กโตรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

วิธีการนี้จะเป็นการแยกไอออนจากสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้าตรงร่วมกับการใช้เมมเบรนที่เลือกเฉพาะสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion selective membrane) กลไกของวิธีนี้เป็น การแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายและน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน วิธีนี้มีต้นทุนค่าก่อสร้างและการดำเนินงานสูง แต่มีข้อดี คือ สามารถกำหนดชนิดของไอออนที่ต้องการได้

6. การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic recovery)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าซึ่งจะลดปริมาณ ไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทด และเกิดก๊าซออกซิเจนขึ้นที่ขั้วแอโนดตลอดเวลาวิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นโลหะสูง แต่ไม่นิยมเนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

7. การดูดซับ (Adsorption)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการในการกำจัดสารที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุล โดยสารที่ใช้ในการดูดซับมักจะเป็นถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ที่ใช้กันมี 2 ลักษณะคือ แบบคาร์บอนเป็นเม็ด (granular carbon) มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.1 มิลลิเมตร และแบบคาร์บอนเป็นผง (powder carbon) มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 200 เมช ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอนมากเท่าที่จะทำได้ รูพรุนหรือโพรงมีขนาดตั้งแต่ 20 \AA ถึง 20000 \AA กระบวนการนี้สามารถนำมาใช้กำจัดโลหะหนักได้ จนเหลือถึงระดับที่ยอมให้มีได้

7.1 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับจะมีความสามารถในการกำจัดสิ่งที่เป็นอนินทรีย์ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยอาศัยกลไกทางกายภาพเคมี ซึ่งกระบวนการดูดซับนี้สามารถกำจัด สี กลิ่น บีโอดี ซีโอดี สารฆ่าแมลงได้ การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุม มีประสิทธิภาพที่ดี และระบบมีความทนต่อสารพิษ ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพคือต้องการพื้นที่น้อยและไม่มีการปนเปื้อนที่น่ายังเกียด

7.1.1) หลักการดูดซับ (Concept of adsorption)

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำดีและน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึง โมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือแก๊สให้มาจับและติดที่ผิว ซึ่งปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายสารจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่าตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent)

การดูดซับที่สำคัญมี 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ (physisorption) และการดูดซับทางเคมี (chemisorption) การดูดซับทั้ง 2 แบบนี้เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลในของเหลวเข้าใกล้ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยึดติดกับผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของของแข็งสามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารที่อยู่ในของเหลวได้

การดูดซับทางกายภาพเป็นผลจากแรงวันเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของสาร การดูดซับแบบกายภาพทั่วไปจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดูดซับระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ถ้าแรงมีค่าน้อยการหลุดออกของสารดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมีเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับเกิดเป็นสารประกอบเคมีซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการนี้จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ (irreversible) ส่วนการดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับเองได้ (reversible) เนื่องจากการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2 – 10 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยประมาณ 15 – 50 กิโลแคลอรีต่อโมล

7.1.2 ความแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพกับการดูดซับทางเคมี

1. การดูดซับทางกายภาพไม่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนหรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน
2. การดูดซับทางกายภาพไม่จำกัดเกี่ยวกับบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา โมเลกุลที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปเกาะยังพื้นผิวส่วนใดก็ได้ แต่การดูดซับทางเคมีจะเลือกเฉพาะบริเวณที่สามารถเกิดพันธะเคมีได้เท่านั้น
3. ค่าความร้อนของการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าต่ำ มีค่าเท่ากับความร้อนของการกลายเป็นของเหลว เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางเคมี ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น แต่ค่าความร้อนของการดูดซับก็ไม่ใช่ว่าสำคัญในการพิจารณา
4. การดูดซับทางกายภาพจะเกี่ยวข้องกับการเกิดของชั้นหลายโมเลกุล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นสมบูรณ์เมื่อมีการเกิดชั้นที่ 1 แล้ว ซึ่งบางครั้งการดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวชั้นบนของการดูดซับทางเคมีก็ได้
5. การดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นอย่างทันที เป็นการแพร่เข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับซึ่งต้องใช้เวลาพอสมควร ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างทันทีเช่นกันแต่ต้องอาศัยพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานกระตุ้น (activation energy) เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (exothermic reaction) ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของการดูดซับ ถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าใกล้เคียงกับความร้อนแฝงของการกลั่นตัวเป็นของเหลว และถ้าเป็นการดูดซับทางเคมี ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับการดูดซับทางกายภาพ โดยจะมีค่าน้อยกว่าความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีไม่มากนัก พบว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นและที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมนั้นเป็นการดูดซับทางกายภาพ

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท

1. ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และ แอคติเวตเตดซิลิกา สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50 – 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ จับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก
2. ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600 -1000 ตารางเมตรต่อกรัม
3. ประเภทสารอนินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 – 500 ตารางเมตรต่อกรัม

7.1.3) กลไกการดูดซับและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Machanism of adsorption and Rate of molecule transfer)

7.1.3.1) กลไกการดูดซับ (Machanism of adsorption)

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน (Faust และ Aly,1987) ดังนี้

1. การแพร่ภายนอก (External diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของสารดูดซับ
2. การแพร่ผ่านภายใน (Internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างสารดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ
3. ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายดูดติดที่ผิวของสารดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่

7.1.3.2) อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of molecule transfer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่รวดเร็วจึงทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็ว อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในกระบวนการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับของสารจากการละลายมี 3 ขั้นตอนคือ

1. การขนส่งอนุภาค (Bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของของเหลวบาง ๆ ที่ห่อหุ้มสารดูดซับ
 2. การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของของเหลวบาง ๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์มจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับผิวขั้นตอนหนึ่ง
 3. การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน
- ภายใต้สภาวะการทำงานหนึ่ง ๆ การขนส่งฟิล์มจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับแต่ถ้าภายในระบบมีสภาพปั่นป่วนเพียงพอขั้นตอนการขนส่งภายในอนุภาคจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดซับ

7.1.4) การดูดซับที่สภาวะสมดุล (Adsorption equilibrium)

สามารถอธิบายปรากฏการณ์กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นว่า ณ จุดสมดุลของการดูดซับ สมรรถนะของตัวดูดซับ (adsorption capacity) สามารถเขียนในรูปความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวดูดซับ ในน้ำที่อุณหภูมิคงที่ โดยเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm)

มีทฤษฎีหลากหลายที่พัฒนาขึ้นเพื่อแสดงไอโซเทอรัมของการดูดซับ ในปัจจุบันยังไม่มีทฤษฎีไหนอธิบายสมการและกลไกการดูดซับได้อย่างถูกต้อง จะนำเสนอสมการทั่วไปดังนี้

7.1.4.1) ไอโซเทอรัมการดูดซับแบบพื้นฐาน

การดูดซับแบบ Langmuir เป็นพื้นฐานของการดูดซับแบบอื่น ๆ ซึ่งมีการตั้งสมมติฐานว่าการดูดซับสูงสุดสัมพันธ์กับ โมเลกุลตัวถูกละลายที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ มีพลังงานของการดูดซับคงที่ ไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกละลายในแนวระนาบบนพื้นผิวตัวดูดซับ

$$Q = \frac{Q_m KC}{1 + KC}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

Q = จำนวน โมเลกุลตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักที่ความเข้มข้น C

Q_m = จำนวน โมเลกุลของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักตัวดูดซับที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียว (monolayer) บนพื้นผิวดูดซับ

C = ความเข้มข้นที่จุดสมดุล (mg/L , M)

K = ค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับพลังงาน

ดังนั้นเมื่อจัดเป็นสมการเส้นตรงจะได้ดังนี้

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{KQ_m C}$$



รูปที่ 2.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir
ที่มา (Suzuki ,1990)

7.1.4.2) Freundlich isotherm

การดูดซับแบบ Freundlich เป็นการดูดซับที่ตัวถูกดูดซับเรียงซ้อนกันหลายชั้นด้วยพันธะอ่อนๆ

$$q_e = \frac{X}{M} = KC^{1/n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

q_e = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (mg/g)

X = ปริมาณของสารที่ดูดซับ (mg)

M = ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (g)

C = ความเข้มข้นสมดุลของตัวถูกดูดซับ (mg/L , M)

K = ค่าคงที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ (mg/g)

$1/n$ = ค่าคงที่แสดงถึงการขึ้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย (concentration dependence)

สมการ Freundlich เมื่อเขียนกราฟค่า X/M และ C จากการทดลองลงบนกราฟ Log จะได้สมการ

$$\log\left(\frac{X}{M}\right) = \log K + \frac{1}{n} \log C$$

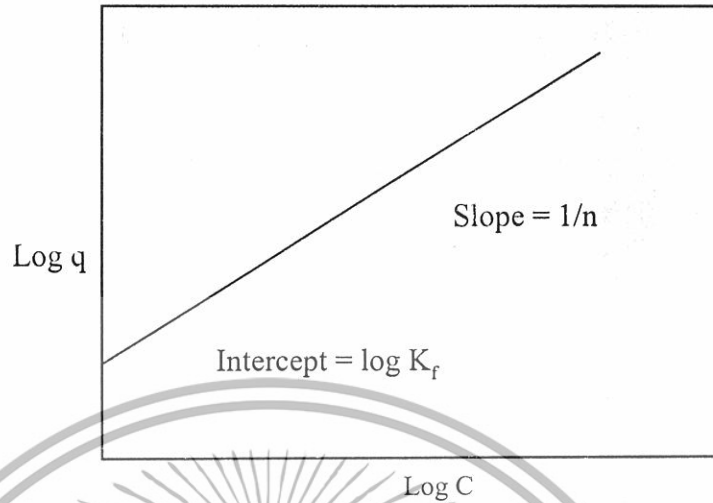
สามารถหาค่า K และ $1/n$ ได้โดยที่

$1/n$ = ความชันของกราฟ

K = ค่า X/M ที่ค่า $C = 1$ รูปที่ 2.2

หากค่า K และ $1/n$ มีค่าต่ำ ความสามารถในการดูดซับจะต่ำในทุกค่าความเข้มข้น แต่ถ้า $1/n$ สูงแสดงว่าความสามารถในการดูดซับนี้จะขึ้นกับความเข้มข้นเช่นหากความเข้มข้นต่ำ ความสามารถในการดูดซับจะลดลงอย่างรวดเร็วและในทางตรงกันข้ามเมื่อความเข้มข้นสูง ความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich
ที่มา (Suzuki, 1990)

การหาไอโซเทอร์มการดูดซับนั้น กระทำได้โดยการนำตัวดูดซับปริมาณที่แตกต่างกัน มาเขย่ากับน้ำที่มีสารปนเปื้อนจนถึงจุดสมดุลของการดูดซับ จากนั้นแยกน้ำใส่ออกมาวิเคราะห์ ปริมาณสารปนเปื้อนที่เหลือ ผลการทดสอบที่ได้นำไปใช้คัดเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมในการใช้งานนั้น ๆ

7.1.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

7.1.5.1) ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับและพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) อัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนเข้าสู่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่ เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับในทางกลับกันถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมการดูดซับ การดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ

7.1.5.2) ลักษณะของสารดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายอย่างหนึ่งก็คือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

7.1.5.3) อัตราเร็วในการปั่นกววน (Mixing speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับกระบวนการขนส่งโมเลกุลของระบบซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัด อัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่อัตราเร็วในการปั่นกววนของระบบ ถ้าน้ำมีอัตราเร็วในการปั่นกววนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีอัตราเร็วในการปั่นกววนสูง ทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้เร็ว ดังนั้น การแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

7.1.5.4) เวลาสัมผัส (Contact time)

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนนำไปใช้งานจริง

7.1.5.5) ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญของการดูดซับเนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายของสารต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

2.2 โลหะหนัก (ชุดิมาและคณะ,2544)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท นิกเกิล ทองแดง โครเมียม เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วโลหะหนักมีสภาพเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้าและการนำความร้อนได้ดี มีความมันวาว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โลหะหนัก (ชุตินาและคณะ,2544)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียมปรอท นิกเกิล ทองแดง โครเมียม เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วโลหะหนักมีสภาพเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้าและการนำความร้อนได้ดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีแผ่เป็นแผ่นบาง ๆ ได้ ส่วนสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบ และเสถียรกว่าโลหะอิสระ

โลหะหนักสามารถจัดแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมสูง ได้แก่ อาร์เซนิก(As) ทอง(Au) แคดเมียม(Cd) คอปเปอร์(Cu) โครเมียม(Cr) ปรอท(Hg) ตะกั่ว(Pb) เทลลูเรียม(Te) และสังกะสี(Zn) และกลุ่มที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงรองลงมา ได้แก่ แบเรียม(Ba) เบริลเลียม(Be) เหล็ก(Fe) โมลิบดีนัม(Mo) ไทเทเนียม(Ti) และยูเรเนียม(U)

ความเป็นพิษของกลุ่มโลหะหนักเหล่านี้เป็นผลมาจากการที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณแตกต่างกัน แล้วก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายนั่นเอง แหล่งที่มาที่สำคัญของโลหะหนักเหล่านี้คือ กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถปนเปื้อนกับน้ำทิ้งอุตสาหกรรมจากนั้นเกิดการปนเปื้อนกับสิ่งแวดล้อมในดิน น้ำ อากาศ และผลผลิตจากการเกษตร และเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ และมีผลต่อเมตาโบลิซึมของเซลล์สิ่งมีชีวิต

2.2.1 ทองแดง (Copper , Cu)

ทองแดงเป็นโลหะที่ใช้มากที่สุดโลหะหนึ่งในรูปของโลหะอิสระ เพราะมีสมบัติที่ตีหลายประการ เช่น สมบัติการนำไฟฟ้าและความร้อนดี ทนต่อการผุกร่อน ดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นบางๆ ได้

การค้นพบ

โลหะทองแดงรู้จักกันตั้งแต่ก่อนประวัติศาสตร์ และได้มีการนำมาใช้ประโยชน์มากกว่า 6,000 ปีมาแล้ว ถึงแม้จะมีหลักฐานค่อนข้างแน่ชัดว่ามนุษย์รู้จักเอาทองคำและเหล็กมาใช้ประโยชน์ก่อนทองแดง แต่ก็เป็นที่มั่นใจได้ว่าทองแดงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาวัฒนธรรมในสมัยโบราณ ทองแดงเป็นหนึ่งในโลหะที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์รู้จัก และอาจเป็นโลหะชนิดแรกที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ สันนิษฐานว่าต้นกำเนิดทองแดงอยู่ในบริเวณหุบเขาของแม่น้ำ Tigris และ

Euphrates และได้มีการค้นพบทองแดงในดินแดนเมโสโปเตเมีย และอียิปต์ เมื่อ 4,000 ปีก่อนคริสตกาล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

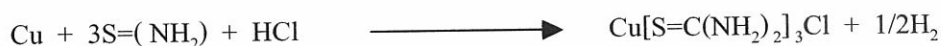
กาล ก่อนการเกิดของราชวงศ์อียิปต์ที่อยู่ในช่วง 3200 ปีก่อนคริสตกาล โดยมีการนำ Copper Carbonate มาใช้เป็นรงควัตถุ (Pigment) มีการนำทองแดงมาใช้เป็นอาวุธเช่น ขวาน รวมทั้งเครื่องมือหุงต้ม คำว่า Copper มาจากภาษาละตินว่า Cuprum ทองแดงถูกพบทั้งในรูปอิสระ และในรูปสารประกอบของ ซัลไฟด์ (sulfide) ออกไซด์ (oxide) และคาร์บอเนต (carbonate) สินแร่พื้นฐานของทองแดงคือ ซาโคไพไรต์ (Chalcopyrite), CuFeS_2 ซาโคไซต์ (Chalcocite), Cu_2S และบอร์ไนต์ (Bornite), Cu_5FeS_4

สมบัติทางกายภาพ

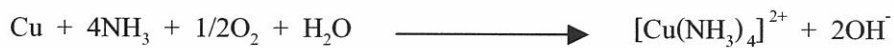
ทองแดงบริสุทธิ์มีสีแดง มีความแวววาว มีความแข็งและเหนียว สามารถดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นต่างๆ ได้ มีสมบัติการนำไฟฟ้าและความร้อนดี (เป็นที่สองรองจากโลหะเงิน) สมบัติทางกายภาพอื่นๆ ของทองแดง และมีเลขอะตอม 29 เป็นธาตุแรกของหมู่ IB จัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชัน น้ำหนักอะตอม 63.54 ความหนาแน่น 8.94 g/cc ที่ 20 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,083 องศาเซลเซียส เลขออกซิเดชัน +1,+2 โครงสร้างผลึกเป็นแบบ face-centered cubic รัศมีไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) เป็น 73 pm มีประจุเป็น 2+ และความหนาแน่นประจุ 2.74×10^{10}

สมบัติทางเคมี

ทองแดงเป็นธาตุทางเคมี มีสัญลักษณ์ Cu มีเลขอะตอม 29 มีน้ำหนักอะตอม 63.546 ในตารางธาตุทองแดงจะอยู่ระหว่างธาตุนิเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) อยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชัน แถวที่หนึ่ง และมีธาตุอยู่ในกลุ่มเดียวกัน เรียกว่ากลุ่มโลหะ Coinage คือธาตุเงิน และทองคำ ค่า electronic Configuration ของทองแดงคือ $[1s^2 2s^2 2p^6 3s^2] 3d^{10} 4s^1$ หรือ [Argon] $3d^{10} 4s^1$ อิเล็กตรอนใน 4s ทำให้ทองแดงมีสมบัติทางเคมีเหมือนธาตุโพแทสเซียม (K) ที่มี electronic configuration เป็น [Argon] 4s อย่างไรก็ตามทองแดงมีรูปทรงที่ต่างกับโพแทสเซียม ทองแดงมีค่า ionization potential ลำดับที่หนึ่งสูงกว่าโพแทสเซียม แต่มีค่า ionization potential ลำดับที่สองและสามต่ำกว่าโพแทสเซียม ตามปกติทองแดงจะไม่ทำปฏิกิริยา ไม่ละลายใน nonoxidizing acid เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ค่า oxidation potential ของปฏิกิริยาคือ - 0.34 V ที่ 25 องศาเซลเซียส ทองแดงละลายใน oxidizing acid เช่น กรดไนตริก (HNO_3) หรือในตัวทำละลายเช่น ไทโอยูเรีย (Thiourea), $\text{S}=\text{C}(\text{NH}_2)_2$ ได้สารละลายเชิงซ้อนที่เสถียรของ Cu^{1+} ไอออนดังสมการ



Cu^{2+} จะเกิดขึ้นเมื่อมีแก๊สออกซิเจน (O_2) และตัวทำละลายเช่น แอมโมเนีย (NH_3) ดังสมการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไอออนของทองแดงที่พบบ่อย ๆ มี 2 รูป คือ Cu^{1+} และ Cu^{2+}

Cu^{1+} ไอออนมี electronic configuration เป็น [Argon] $3d^{10}$ ปกติแล้วจะไม่มีสีเพราะมีอิเล็กตรอนอยู่เต็มใน d orbital การที่มีสีปรากฏในสารประกอบของ Cu^{1+} เนื่องจากแสงวิซิเบิล ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้น จาก Cu^{1+} d orbital ไปสู่ orbital ที่ว่างของลิแกนด์หรือเกิดจากสีในตัวงของลิแกนด์เอง สารประกอบของ Cu^{1+} ประกอบไปด้วยโมเลกุลหรือไอออน 2 หรือมากกว่า 2 จำนวน ลิแกนด์ coordination number ส่วนมากจะเท่ากับ 4 coordination number 2 และ 3 พบน้อยขณะที่ Coordination Number 5 พบน้อยมาก และ coordination number 6 ไม่เคยพบเลย

Cu^{2+} ไอออนมีอิเล็กตรอนใน d orbital ไม่เต็ม ทำให้สารเชิงซ้อนของ Cu^{2+} มีสี และแสดงสมบัติแม่เหล็กเนื่องจากอิเล็กตรอนที่ไม่เข้าคู่ สมบัติแม่เหล็กนี้ทำให้โครงสร้างของสารเชิงซ้อนของ Cu^{2+} บิดเบี้ยวอย่างเห็นได้ชัด เกิดของ Cu^{2+} ละลายน้ำได้ดี และในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้ว เช่น เมทานอล และ อะซิโตน ไตรเอทิล

คุณสมบัติทางฟิสิกส์

โลหะทองแดงมีสีแดงหรือสีชมพู มีความต้านทานทางไฟฟ้า 0.15328 โอห์มต่อเมตร – กรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความนำไฟฟ้า (specific electrical conductivity) 60.0 เมตรต่อโอห์ม ตารางมิลลิเมตร มีค่าความแข็ง (Brinell hardness, H_B) 35×10^3 นิวตันต่อตารางเมตร มีจุดหลอมเหลว (melting point) 1,083 องศาเซลเซียส มีจุดเดือด (boiling point) 2,595 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของโลหะทองแดงบริสุทธิ์ 8.9592 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (coefficient of linear expansion) 1.65×10^{-5} ต่อองศาเซลเซียส ที่ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความร้อนจำเพาะของของแข็ง (specific heat of the solid) 0.092 แคลอรีต่อกรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความร้อนจำเพาะของของเหลว (specific heat of the liquid) 0.112 แคลอรีต่อกรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนจำเพาะในสถานะไอ (specific heat of the vapor state) 0.08 แคลอรีต่อกรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส

ทองแดงในธรรมชาติมีไอโซโทป (isotope) 2 ชนิดผสมกัน คือ ^{63}Cu และ ^{65}Cu ไอโซโทปอื่นที่รู้จักกันดีคือ ไอโซโทปที่มีเลขมวล 60, 61, 62, 64, 66 และ 67 ไอโซโทป ^{64}Cu เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี ที่มีค่าครึ่งชีวิต 12.8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้า

ศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมาตรฐาน (standard electrode potentials) ของการวิเคราะห์ที่นำเสนอ
ใจแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมาตรฐาน (standard electrode potentials) ของ
ทองแดง (ชุตินา, 2544)

Reduction	E°, v
$Cu(NH_2)_4^{+2} + 2e = Cu^{2+} + 4NH_2$	- 0.05
$Cu^{2+} + e = Cu^+$	0.167
$CuCl_2^- + e = Cu + 2Cl^-$	0.19
$Cu^{2+} + 2e = Cu$	0.3418
$Cu^{2+} + 2I^- + e = CuI_2^-$	0.690
$Cu^{2+} + I^- + e = CuI$	0.877

ความเป็นพิษ

ทองแดงเป็นโลหะที่ร่างกายของเราต้องการในปริมาณเล็กน้อย (trace element) เช่น จำเป็น
สำหรับกระบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) ผู้ใหญ่ต้องการทองแดง 2 mg/วัน และร่างกาย
ของคนเรามีทองแดงอยู่ 100-150 mg ซึ่งทองแดงจำนวนนี้มีความเข้มข้นสูงสุดที่ตับและกระดูก
ในโลหิตของเราก็มีทองแดงอยู่ด้วย เป็นที่ทราบกันว่า การสร้างฮีโมโกลบินต้องอาศัยทองแดง ถึงแม้
ไม่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้การสังเคราะห์เอนไซม์หลายชนิดต้องอาศัยทองแดงด้วย
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทองแดงในปริมาณเล็กน้อยไม่เพียงแต่ไม่เป็นพิษ ยังเป็นสิ่งที่ร่างกายเรา
ต้องการ แต่ถ้ามีในปริมาณที่สูงก็จะให้โทษและเป็นพิษได้ เช่น เกิดอาการอาเจียน เหน็บชา สำลัก
หรืออาจถึงตายได้ นอกจากนี้ ทองแดงยังเป็นธาตุจำเป็นสำหรับพืชด้วย เช่น จำเป็นสำหรับการ
สังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และ เอนไซม์ของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนึกหอยสมคกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ทองแดงกับสิ่งมีชีวิต

บทบาทของทองแดงในสิ่งมีชีวิต

1. มีบทบาทในขบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ของพืช
2. เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชันในพืช
3. ใช้ในการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ของพืชชั้นต่ำ เช่น สาหร่าย และฟังไจ
4. การขาดทองแดงในพืช ทำให้พืชตาย ไม่สามารถผลิตเมล็ด ลดปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง
5. ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อรา
6. ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นในขบวนการเมตาบอริซึมในสัตว์ มนุษย์ผู้ใหญ่ต้องการ 2 มิลลิกรัมต่อวัน และในร่างกายจะมีทองแดง 100 – 150 มิลลิกรัม
7. ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและฮีโมโกลบินในสัตว์
8. ทำให้เกิดโรค anemia ในสัตว์เนื่องมาจากมีธาตุทองแดงต่ำในอาหารสัตว์ ในสัตว์จำพวกวัว ควาย และแกะ การขาดธาตุอาหารทองแดงทำให้เกิดโรค diarrhea anemia
9. เกิดโรคประสาท เนื่องจากมีธาตุโมลิบดีนัมมากเกินไป ซึ่งไปยับยั้งการสะสมของทองแดงในตับมักเกิดกับสัตว์จำพวก วัว ควาย และแกะ
10. เกิดโรค reclamation ในพืชเนื่องจากการขาดทองแดงอย่างรุนแรง
11. อาการการขาดธาตุทองแดงในสัตว์ จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิด และอายุ แต่ที่ปรากฏอยู่เสมอคือ ขนของสัตว์จะซีดลง
12. ใช้เป็นอาหารเสริมให้กับสัตว์ กรณีที่สัตว์ขาดธาตุทองแดงหรือเพื่อควบคุมการผลิตภายใน

โทษของทองแดงในสิ่งมีชีวิต

1. ดินที่มีทองแดงมากเกินไปจะเป็นพิษต่อพืช และสัตว์ตามห่วงโซ่อาหาร
2. การสะสมตัวของทองแดงในมนุษย์ทำให้เกิดอาการ อาเจียน ตะคริว และเกิดอาการชัก ถ้ามีปริมาณเท่ากับ 27 กรัม อาจทำให้เสียชีวิตได้ เรียกว่าโรค Wilsons
3. ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เนื่องจากทองแดงรวมตัวกับ thiol ของเอนไซม์
4. การสะสมของทองแดงในสัตว์เป็นเวลานาน ๆ ทำให้เกิดโรคไตวาย และโรคตีชาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาเอกสารนี้ส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีการกำจัด

เทคโนโลยีที่นิยมใช้ส่วนใหญ่คือ เทคนิคการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ หรือตะกอนซัลไฟด์ หรือตะกอนคาร์บอนเนต นอกจากนี้ยังมีวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) ซึ่งวิธีนี้มีประโยชน์คือ สามารถนำทองแดงกลับมาใช้ใหม่ได้ และวิธีการระเหย (Evaporation) รวมทั้งวิธีการออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse osmosis) เป็นต้น

การใช้ประโยชน์

1. ทองแดงเป็นโลหะที่มีประโยชน์มากและใช้มากรองจากเหล็ก เช่น ใช้ทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้า และเครื่องมือไฟฟ้าต่างๆ
2. ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง
3. ใช้ในการผลิตหม้อน้ำ กาน้ำ ถังน้ำ ท่อน้ำ และขดลวด กัดน้ำร้อน ฯลฯ
4. ใช้เคลือบผิวโลหะ
5. ใช้ทำโลหะเจือ ทองเหลือง (brass) คือ โลหะเจือทองแดง (70%) และสังกะสี (30%) ทองสัมฤทธิ์ (bronze) เป็นโลหะเจือของทองแดง ดีบุก และสังกะสีเล็กน้อย เทรียธาตุทั่วไปเป็นโลหะเจือที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย
6. ใช้ทำกระทะและเครื่องครัวต่างๆ

2.3 เปลือกกุ้งและกระดองปู

เปลือกของสัตว์มีกระดอง (crustaceous shell) ประเภท กุ้ง ปู หอย ปลาหมึก และสัตว์อื่น ๆ ที่มีเปลือกแข็งหุ้มตัว ซึ่งลักษณะของเปลือกจะหนาแข็งประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่เรียกว่า nitrogeneous polysaccharide chitin ร่วมกับสารแคลเซียม ซึ่งเป็นตัวทำให้แข็งและรวมอยู่ในรูปสารประกอบโปรตีน เปลือกกุ้งและกระดองปูแบ่งเป็นชั้น ๆ จากชั้นนอกไปยังด้านใน ดังนี้ คือ ชั้น epicuticle เป็นเปลือกชั้นนอกสุด ประกอบด้วยโปรตีนและไลปิดนุ่ม ชั้น pigment ประกอบด้วยไคตินร่วมกับเกลือแคลเซียมและจุดสีของพวกเมลานิน หรือ tanned protein ชั้นถัดไปคือ ชั้น calcified ประกอบด้วยไคตินที่ไม่มีสี เป็นชั้นที่แสดงความหนาของเปลือกต่างกันแต่ละชนิด เช่น ปูมีเปลือกหนากว่ากุ้ง ชั้นในสุด membranous layer หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า uncalcified layer ไม่มีแคลเซียม มีสารประกอบของไคตินและโปรตีนอยู่บนชั้นของเนื้อ epithelium (อรุณี, 2534)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ไคตินและไคโตซาน

แหล่งที่พบ (ภัทราวุธ , 2001)

- เปลือกกุ้ง กระดองปู แกนปลาหมึก
- ผนังเซลล์ของเห็ดรา และสาหร่ายบางสายพันธุ์
- เปลือกหุ้มแข็งของแมลง
- ไคตินพบครั้งแรกในปี 1881 โดย Braconnot
- ในปี 1823 พอลิเมอร์ชนิดนี้ถูกเรียกว่า ไคติน โดย Odier
- คำว่าไคติน (Chitin) มาจากคำว่า “ Chitin ” (ในภาษากรีก แปลว่า เกราะหุ้ม)
- ไคตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากเป็นอันดับสองในโลกรองจากเซลลูโลส ทำหน้าที่เป็น

โครงสร้างป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

- ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากปฏิกิริยา deacetylation ของไคติน พบโดยบังเอิญในปี ค.ศ. 1859 โดย Rouget โดยการต้มไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ส่วนใหญ่ไคตินจะอยู่ร่วมกับสารจำพวก โปรตีนและแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต

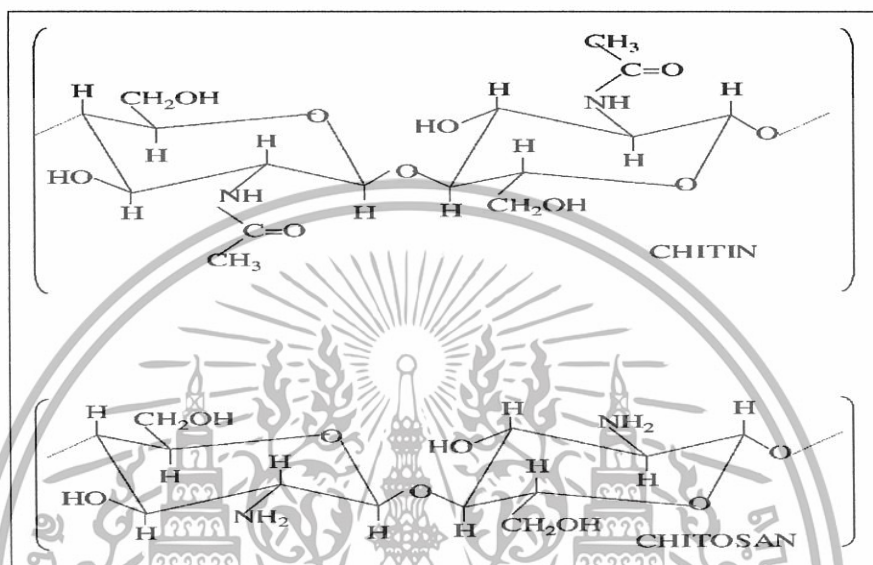
ไคตินเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่พบมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส พบมากในส่วนประกอบที่เป็นเปลือกแข็งของสัตว์ทะเล เช่น กุ้ง ปู หอย และปลาหมึก เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบในเปลือกแข็งของสัตว์พวกแมลง และตามผนังเซลล์ของพืช เห็ด รา และสาหร่ายบางชนิด

ไคตินมีชื่อทางเคมีว่า Poly - β - (1,4) - 2- deoxy - D - glucose หรือ Poly N - acetyl - glucosamine เป็นพอลิเมอร์อินทรีย์โมเลกุลยาวที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส ต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 มีหมู่ acetylated amino (NH-CO-CH_3) แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ดังในเซลลูโลส ไคตินมีสูตรทั่วไปเป็น $(\text{C}_8\text{H}_{13}\text{NO}_5)_n$ ประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 47.29 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.45 ไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และออกซิเจนร้อยละ 39.37 เมื่อพิจารณาจากสูตรโครงสร้างของไคตินพบว่า ไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ (non-electrolytic polymer) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (A) ซึ่งทำให้ไคตินไม่ละลายในสารละลายทั่วๆ ไปโดยง่าย การใช้ประโยชน์จากไคตินจึงไม่แพร่หลาย อย่างไรก็ตามสามารถดัดแปลงไคตินโดยวิธีการทางเคมีเพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้งานมากขึ้นคือการเตรียมเป็นไคโตซาน

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินมีชื่อทางเคมีว่า Poly - β - (1,4) - 2- amino - 2- deoxy - D - glucose ซึ่งสามารถผลิตได้โดยการแยกหมู่อะซิทิลออก (deacetylation) จากไคตินเหลือเป็นหมู่เอมิโนอิสระ (NH_2) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองดังแสดงในรูปที่ 2.1 (B) โดยทั่วไปถ้าหมู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะซิทธิลกลูคตัดหรือหลุดออกไปประมาณร้อยละ 60 เรียกว่า ไคโตซาน และถ้าหมู่อะซิทธิลกลูคตัดหรือหลุดออกไปประมาณร้อยละ 90-100 เรียกว่า Fully deacetylated chitosan



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของไคติน และ ไคโตซาน

2.5 คุณสมบัติของไคตินและไคโตซาน (สุทธิทิรา, 2547)

2.5.1 การละลาย (Solubility)

ไคตินไม่ละลายน้ำ กรดเจือจาง ค่างทั้งเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่สามารถละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดซัลฟูริกเข้มข้น กรดฟอสฟอริก (78-97%) กรดฟอร์มิก และ DMAc-LiCl (N, N-dimethylacetamide-lithium chloride) ซึ่งความยากในการละลายของไคตินในตัวทำละลายต่างๆ เป็นผลมาจากสายโซ่โมเลกุลที่อยู่กันอย่างหนาแน่น มีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน ไคโตซานไม่ละลายในน้ำ ค่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีพีเอชน้อยกว่า 6 กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริกและกรดฟอสฟอริกสามารถละลายไคโตซานได้เช่นกัน แต่ภายใต้การคนที่มีอุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ค่าพีเอช และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลายพอลิเมอร์ให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซีติก เพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น

2.5.3 สมบัติพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte properties)

ไคโตซานเป็นสายพอลิเมอร์ของ anhydroglucosamine และเป็นสาย polyelectrolyte ที่สภาวะเป็นกรด มีค่าพีเอชเท่ากับ 6.5 ไคโตซานในสารละลายมีประจุเป็นบวก เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิเมอร์มีความหนาแน่นของประจุบวกสูง ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) โมเลกุลสูง หรือพวคพอลิแซ็กคาไรด์ ส่วนใหญ่มีประจุเป็นกลางหรือเป็นประจุลบ แต่ไคโตซานเป็นหนึ่งในพวก cationic polyelectrolyte จึงมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ได้มากกว่า เนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีประจุลบ ประจุบวกของไคโตซานจับอย่างแน่นกับผิวที่เป็นประจุลบทำให้เกิดความเป็นกลางบริเวณผิวของจุลินทรีย์ ดังนั้นการจับของไคโตซานกับเซลล์สิ่งมีชีวิตเป็นสมบัติที่สำคัญมากในการนำไปใช้ในด้านการแพทย์

2.5.4 มวลโมเลกุล (Molecular weight)

ความยาวของสายโซ่ของโมเลกุลมีความสำคัญในการพิจารณาสมบัติของพอลิเมอร์ ซึ่งพอลิเมอร์ทั่วไปมีสายขนาดใหญ่แต่ไม่จำเป็นต้องมีขนาดยาวเท่ากัน การนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์ต่างๆ มีความสัมพันธ์กับมวลโมเลกุล ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล ซึ่งมีผลต่อกลไกการทำงาน และสมบัติทางเคมี เมื่อใช้ไคโตซานในการผลิตฟิล์ม การผลิตเมมเบรน และเส้นใยต่างๆ มวลโมเลกุลสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งมวลโมเลกุลเฉลี่ยของไคติน คือ 1.03×10^6 ถึง 2.5×10^6 คอลตัน และมวลโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลไคติน (carboxymethylchitin) ประมาณ 1.33×10^6 คอลตัน โดยทั่วไปมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของ fully deacetylated chitosan ที่สกัดได้จากกุ้งมีค่าประมาณ $440,000 \pm 50,000$ กรัม/โมล และของปูมีค่าประมาณ 500,000-850,000 กรัม/โมล

2.5.5 ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล (Degree of deacetylation)

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการใช้ประโยชน์จากไคโตซาน คือ ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของไคโตซาน ดังนั้นจึงมีการวัดระดับอะซีทิลของไคโตซานเพื่อพิจารณาถึงการใช้งาน ซึ่งการวิเคราะห์มีหลายวิธี ได้แก่ infrared spectroscopy (IR), circular dichroism เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(CD), elemental analysis (EA), titration และ first derivation ultraviolet (UV) spectroscopy ลักษณะของ IR ยากในการวิเคราะห์ และผลที่ได้มีแนวโน้มที่คลาดเคลื่อน การศึกษาแบบ CD มีข้อจำกัดในการละลายของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงไม่สามารถวิเคราะห์พวกที่ไม่ละลาย และพวก highly acetylated polymeric compound ได้ วิธีไตเทรตมีความยุ่งยาก และใช้เวลานาน และผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดย EA ไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญ โดยเฉพาะถ้ามีการปนเปื้อนของ By-product แต่วิธีนี้ใช้ในการหาโคโตซานซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ของ glucosamine/ N-acetylglucosamine ส่วนการตรวจสอบพวกกลุ่มอะมิโนอิสระโดยการใช้ fluorescence มีการตอบสนองเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคซามีนแบบไม่เป็นเส้นตรง และการวัดตัวอย่างอาจมีการเจือจางขึ้นอยู่กับค่าที่ต้องการวัด

2.6 การประยุกต์ใช้ไคติน และไคโตซาน (Application of chitin and chitosan)

การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซานในด้านต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซาน (Kupongsak, 1995 และ Goosen, 1997)

การประยุกต์ใช้	ตัวอย่างการใช้งาน
การบำบัดน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> • การกำจัดโลหะหนัก • ใช้เป็นตัวกรอง (filtration)
อุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ	<ul style="list-style-type: none"> • เคลือบหน้ากระดาษเพิ่มความแข็งแรง และทำให้เยื่อกระดาษรวมตัว และเกิดฟิล์มที่ด้านน้ำ
ด้านการแพทย์และเภสัช	<ul style="list-style-type: none"> • ป้องกันเส้นเลือดอุดตัน ควบคุมระดับคลอเรสเตอรอลในเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การประยุกต์ใช้โพลีเมอร์และไบโโพลิเมอร์ (pongsak, 1995 และ Goosen, 1997) (ต่อ)

การประยุกต์ใช้	ตัวอย่างการใช้งาน
อาหาร	<ul style="list-style-type: none"> ● removal of dyes, solid, acids ● เป็นสารกันเน่าเสีย (preservatives) ● เพิ่มความคงทนของสี (color stabilization) ● ส่วนผสมในอาหารสัตว์ (animal feed additive)
การเกษตร	<ul style="list-style-type: none"> ● เคลือบหน้ากระดาษเพิ่มความแข็งแรง และทำให้เยื่อกระดาษรวมตัว และเกิดฟิล์มที่ด้านหน้า ● เคลือบเส้นใยผ้าเพิ่มการต้านทานน้ำ
เมมเบรน	<ul style="list-style-type: none"> ● ผ้าพันแผล (bandages) ● ป้องกันเส้นเลือดอุดตัน ควบคุมระดับกลอเรียสเตอรอลในเลือด ● ผลิตเมมเบรน (membranes) ● ใช้ด้านทันตกรรม/ยับยั้งการเกิดหินปูน ● รักษาผิวหนังใหม่/ทำผิวหนังเทียม (artificial skin) ● ตกตะกอนยา และใช้เป็น drug carrier
เทคโนโลยีชีวภาพ	<ul style="list-style-type: none"> ● enzyme immobilization and cell immobilization ● protein separation ● chromatography ● cell recovery ● glucose electrode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรุณี เทอดเทพพิทักษ์ (2534) แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซับโลหะโดยไคติน และไคโตซานที่ผลิตได้ พบว่า ไอออนโลหะ Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} ถูกดูดซับโดยไคติน เท่ากับ 7.0×10^{-3} , 3.4×10^{-3} , $0.01-0.07$ และ $0.01-0.07$ มิลลิโมล/กรัม ตามลำดับ และไคโตซาน เท่ากับ 7.0×10^{-3} , 6.0×10^{-3} , $0.01-0.07$ และ $0.01-0.07$ มิลลิโมล/กรัม ตามลำดับ สามารถลดปริมาณโลหะ Pb^{2+} ในแหล่งน้ำที่บริเวณใกล้โรงงานอุตสาหกรรมจากความเข้มข้น 2.17×10^{-3} และ 1.3×10^{-3} มิลลิโมล/ลิตร เหลือ 1.06×10^{-3} และ 0.53×10^{-3} มิลลิโมล/ลิตร

สุมาลัย ศรีกำไลทอง (2540) ศึกษาการใช้ไคโตซานที่ผลิตได้เป็นสารดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยไคโตซานมีประสิทธิภาพดูดซับทองแดงในน้ำทิ้งที่พีเอช 5 ได้สูงถึงร้อยละ 81.29 แต่ดูดซับนิกเกิล และสังกะสีเพียงร้อยละ 17.87 และ 18.85 ตามลำดับ อนุพันธ์ไคโตซานที่สังเคราะห์จากการทำปฏิกิริยากับไพริดอกซอลไฮโดรคลอไรด์ (pyridoxal hydrochloride) และกรดเมอร์แคปโตซซินิก (Mercaptosuccinic acid) ให้ผลการดูดซับไอออนของทองแดง นิกเกิล และสังกะสี และเหล็กเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอนุพันธ์จากไพริดอกซอลไฮโดรคลอไรด์มีการดูดซับสูงสุด

เกษม (2543) ศึกษาประสิทธิภาพของไคโตซานซึ่งสกัดมาจากเปลือกกุ้ง กระจง และ กุ้งผสมปู ในการกำจัดไอออน Pb^{2+} และ Hg^{2+} ในน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากห้องปฏิบัติการ พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการกำจัด Pb^{2+} คือ พีเอชเท่ากับ 5.5 ใช้ปริมาณไคโตซาน 1.7 กรัม ในน้ำเสียด้อย่าง 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 90.3 และสถานะที่ใช้ในการกำจัด Hg^{2+} คือ พีเอชเท่ากับ 5.0 ใช้ปริมาณไคโตซาน 2.2 กรัม ในน้ำเสียด้อย่าง 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 97.8 สำหรับการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการพบว่า สถานะที่เหมาะสมในการกำจัดไอออน Pb^{2+} และ Hg^{2+} คือ พีเอชเท่ากับ 5.5 โดยใช้ปริมาณไคโตซาน 1.5 กรัม ในน้ำเสียด้อย่าง 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 66.4-67.6 และ 48.0-76.7 ตามลำดับ

Eiden et al. (1980) ได้กล่าวถึงอันตรกิริยาการดูดซับของ Pb^{2+} และ Cr^{3+} บนไคติน และไคโตซาน พบว่าค่าการดูดซับเฉลี่ยของ Pb^{2+} บนไคโตซานเท่ากับ 1.7×10^{-4} โมลต่อกรัม ของไคโตซาน ส่วนค่าการดูดซับเฉลี่ยของ Pb^{2+} บนไคตินเท่ากับ 3.5×10^{-5} โมลต่อกรัมของไคติน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 21 ของความสามารถการดูดซับของไคโตซาน และจำนวนอะตอมของไนโตรเจนในไคตินและไคโตซานต่อจำนวน Pb^{2+} ที่ถูกดูดซับไว้ (N/Pb ratio) เท่ากับ 0.5 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11 ตามลำดับ สำหรับค่าการดูดซับเฉลี่ยของ Cr^{3+} บนไคโตซานมีค่าเท่ากับ 2.5 โมลต่อกรัมของไคโตซาน ส่วนค่า N/Cr ratio เท่ากับ 18

Yang and Zall (1984) พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก คือ โครเมียม ทองแดง แคลเซียม ตะกั่ว และสังกะสี ด้วยพอลิเมอร์ 5 ชนิดที่ได้มาจากของเหลือทิ้งในกระบวนการแปรรูปอาหารทะเล ได้แก่ chitin, chitosan, porgy, flounder, cod ขนาด 0.315 มิลลิเมตร ปริมาณ 0.5 กรัม ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 มีประสิทธิภาพลดลง เมื่อทำการทดลองภายใต้ระบบสารละลายผสม (Multi-solute system) เมื่อเทียบกับระบบสารละลายเดี่ยว (Single-solute system) เพราะเกิดการแย่งการดูดซับระหว่างโลหะแต่ละชนิดในระบบสารละลายผสม ส่วนการศึกษาการดูดซับโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด พบว่าไคโตซานมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 5 ชนิดได้มากกว่าพอลิเมอร์อื่นๆ และมีการดูดซับทองแดง ได้มากที่สุด (ร้อยละ 70.5) รองลงมา คือโครเมียม (ร้อยละ 53.4) โดยมีค่าใกล้เคียงกับแคลเซียมคือ ร้อยละ 54.3 และการดูดซับ ตะกั่ว และสังกะสี มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด คือร้อยละ 40.3 และ 20.0 ตามลำดับ ส่วนพอลิเมอร์อีก 4 ชนิด มีแนวโน้มการดูดซับโลหะหนักทั้ง 5 ชนิดไปในทางเดียวกันกับไคโตซาน นอกจากนี้จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ พบว่าอัตราการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ และมีขั้นตอนการแพร่ภายในอนุภาค (Intraparticle diffusion) เป็นขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา

Udaybhaskar (1990) ศึกษาการกำจัดโครเมียม (เฮกซะเวเลนซ์) โดยใช้ไคโตซานที่สกัดจากกระดองปู พบว่ากลไกการกำจัดโครเมียมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยค่าคงที่ของอัตราการกำจัดโครเมียมขั้นที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1.92 ต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์แบบ Langmuir ในการกำจัดโครเมียมพบว่ามีค่าลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้น โดยการดูดซับเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 90 ที่พีเอช 3 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม 5 มิลลิกรัม/ลิตร และการดูดซับมีค่าลดลงร้อยละ 10 ที่พีเอช 7 การที่มีสารอิเล็กโทรไลต์และคลอไรด์พบว่ามีผลต่อการกำจัดโครเมียมอย่างมีนัยสำคัญ โดยคาดว่ากลไกการกำจัดหลักเกิดขึ้นจากแรงของสารอิเล็กโทรไลต์และคลอไรด์ นอกจากนี้ยังพบว่าการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่โดยการใช้ด่างพบว่าให้ประสิทธิภาพต่ำเพียงร้อยละ 60-65 ของการดูดซับโครเมียม

Deans (1992) ทำการศึกษาการกำจัดไอออน Pb^{2+} และ Cu^{2+} ด้วยไบโอพอลิเมอร์ ได้แก่ cellulose, alginate, chitin, chitosan และ carrageenan เทียบกับไบโอพอลิเมอร์พื้นฐานซึ่งได้แก่ carboxymethyl, hydroxamic acid, อนุพันธ์ของ hydroxamic acid, terephthalic acid และ Chelex 20™ (Bio-Rad) โดยใช้ไบโอพอลิเมอร์ 0.015 กรัม ปั่นเหวี่ยงกับสารละลาย Pb^{2+}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Cu^{2+} ความเข้มข้น 1, 10 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเวลา 10 นาที อัตราเร็วของการผสมเท่ากับ 10,000 รอบต่อนาที พบว่าที่ความเข้มข้นของ Cu^{2+} 1 มิลลิกรัม/ลิตร ไคโตซานสามารถลด Cu^{2+} ได้มากที่สุด (ร้อยละ 99.89) ในขณะที่ความเข้มข้นที่ 10 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร ไคโตซานสามารถลดได้ร้อยละ 91.14 และ 58.55 ตามลำดับ และไม่ใช่ผลที่ดีที่สุดของการศึกษาในครั้งนี้ ส่วนที่ความเข้มข้นของ Pb^{2+} ที่ 1, 10 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร ไคโตซานสามารถลด Pb^{2+} ได้ดีพอสมควร คือประมาณร้อยละ 35, 41, 82.98 และ 37.5 ตามลำดับ

Tomoya (1992) ทดลองใช้เม็ดไคโตซานที่พองตัวในการดูดซับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ โดยเม็ดมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.5 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าสามารถกำจัดโลหะหนัก เช่น ทองแดง นิกเกิล สังกะสี โคบอลต์ และแมงกานีส ได้ร้อยละ 98, 82, 70, 36 และ 13 ตามลำดับ

Aung (1997) ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนักโดยการดูดซับด้วยไคโตซาน โดยทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ค่าพีเอช ขนาดอนุภาคไคโตซาน อุณหภูมิ และอัตราเร็วในการปั่นกววน ซึ่งพบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง โครเมียมและตะกั่วเท่ากับ 5.5, 6 และ 4 ตามลำดับ ปริมาณทองแดงที่ถูกดูดซับโดยไคโตซานขนาด 710 ไมโครเมตร และ 425 ไมโครเมตร เท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 7 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ จากสารละลายความเข้มข้นสมมูล 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณทองแดงที่ถูกดูดซับที่ 37.5 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 6.5 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 11 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ จากสารละลายความเข้มข้นสมมูล 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณทองแดงที่ถูกดูดซับโดยการใช้อัตราเร็วในการปั่นกววนที่ 50 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที เท่ากับ 16 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 17 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ จากสารละลายความเข้มข้นสมมูล 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยผลการดูดซับโครเมียมและตะกั่วมีแนวโน้มเช่นเดียวกับทองแดง

Kawamura et al. (1997) พบว่าเกลือไคโตซานที่ผ่านกระบวนการกำจัดหมู่อะซีทิลร้อยละ 80 จากกระดองปู นำมาละลายในกรดอะซีติก และหยดลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อเตรียมเป็นไคโตซานแบบเม็ดที่มีรูพรุน จากนั้นเติมสารเอทิลีนไกลคอลไดไกลิไซด์อีเทอร์ (ethylene glycol diglycidyl ether) เพื่อให้เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายของไคโตซานแบบเม็ด (crosslinked chitosan beads: CRCS) ซึ่งนำไปดูดซับสารปรอท ทองแดง นิกเกิล แคลเซียม และสังกะสี พบว่า CRCS มีความสามารถในการดูดซับสูง และยังสามารถเลือกดูดซับไอออนโลหะต่าง ๆ ได้ดังนี้ ปรอท > ทองแดง > นิกเกิล \cong แคลเซียม \cong สังกะสี ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cholumpai (1998) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไคโตซานจับตะกั่วในน้ำเสีย โดยศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย ความเข้มข้นและรูปแบบของไคโตซานที่ใช้ พบว่าไคโตซานสามารถลดระดับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ และค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการดักจับตะกั่วคือ 6 และ 7 โดยเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับตะกั่วสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ผงไคโตซานมีประสิทธิภาพในการดักจับตะกั่วได้ดีกว่าสารละลายไคโตซาน เมื่อนำผงไคโตซานไปทดลองกับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าสามารถลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้ แต่ประสิทธิภาพต่ำกว่าเมื่อทดลองใช้กับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในน้ำเสียอาจมีโลหะอื่นที่สามารถแย่งจับกับไคโตซานได้ด้วย

Guibal et al. (1998) ได้อธิบายถึงการมีหมู่อะมิโนบนสายพอลิเมอร์ของไคโตซานทำให้สมบัติในการเชื่อมพันธะกับไอออนของโลหะหนักต่าง ๆ เช่น แคลเซียม ทองแดง ตะกั่ว พรอท และโครเมียม จากการทดลองใช้เกลือไคโตซาน 20-200 มิลลิกรัม ดูดซับโมลิบเดท (Molybdate) และวานาเดท (Vanadate) 50-200 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 2-9 เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าไคโตซานสามารถดูดซับโมลิบเดทได้ 7-8 มิลลิโมล/กรัมของตัวดูดซับ ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับอยู่ที่ 3-3.5 ซึ่งสภาวะที่เป็นกรดทำให้หมู่อะมิโนบนไคโตซานมีประจุบวก สามารถดึงดูดหมู่ไอออนได้ดี

Bassi et al. (1999) ได้ศึกษาความสามารถของไคโตซานในการจับโลหะหนักที่ถูกชะออกมาในกระบวนการล้างดินด้วยกรดซิตริก (Citric acid) ซึ่งได้ไอออนโลหะหนักหลาย ๆ ชนิด ผสมกัน ได้แก่ Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} และ Pb^{2+} ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ไคโตซาน 0.5 กรัม ใส่ในน้ำชะปริมาณ 25 มิลลิลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 6 อัตราเร็วของการกวนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ให้ผลในการดูดซับไอออนโลหะหนักผสมที่ดีที่สุด โดยมีการดูดซับ Zn^{2+} มากที่สุดคือร้อยละ 75 รองลงมาคือ Pb^{2+} , Cu^{2+} และ Cd^{2+} โดยมีการดูดซับเท่ากับร้อยละ 71.55, 60 และ 40 ตามลำดับ และการดูดซับไอออนโลหะหนักในสารละลายผสมเกิดขึ้นได้มากกว่าในสารละลายของไอออนโลหะหนักชนิดเดียว ทั้งนี้เนื่องมาจากค่า ionic strength ที่สูงกว่า

Nagh (1999) นำไคโตซานแบบเม็ดมาดูดซับทองแดง โดยดูดซับได้ 30.95 มิลลิกรัม/กรัมตัวดูดซับ และทำการสังเคราะห์อนุพันธ์ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ออกซิเมทิลไคโตซาน (N-carboxymethyl chitosan) ซึ่งการเพิ่มกรดอินทรีย์ลงในไคโตซานทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยพบว่าสามารถดูดซับทองแดงได้ 33.90 มิลลิกรัม/กรัมตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bassi et al. (2000) ศึกษาความเป็นไปได้ของเกลือโคโคซานในการดูดซับโลหะหนัก เช่น สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่วในสารละลายที่สภาวะต่าง ๆ กัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก โดยสามารถดูดซับทองแดงได้ร้อยละ 95 ตะกั่วได้ร้อยละ 84 แคดเมียมร้อยละ 48 และสังกะสีร้อยละ 44 ส่วนค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับอยู่ที่ 6.0 และ 7.0

Bassi , Prasher and Simpson (2000) ได้ศึกษาการใช้เกลือโคโคซานในการกำจัดโลหะไอออนออกจากสารละลาย โลหะหนักที่นำมาทำการศึกษา ได้แก่ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการศึกษาผลของพีเอช ความเข้มข้นเริ่มต้น เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปริมาณของตัวดูดซับ จากผลการศึกษาพบว่า เกลือโคโคซานมีความสามารถที่จะทำการดูดซับไอออนของทองแดงได้มากที่สุด และมีความสามารถที่จะทำการดูดซับไอออนของตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ได้ลดลงตามลำดับ โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับมีค่าเท่ากับ 6 และ 7 การดูดซับโลหะหนักจะเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมงจะดูดซับได้น้อยลงจนมีค่าคงที่ การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจะทำให้สามารถดูดซับไอออนของโลหะหนักได้มากขึ้นโดยการเขย่าเพื่อให้เกลือโคโคซานและสารละลายโลหะหนักผสมกันจะไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะหนักของโคโคซาน

H.K.An , B.Y.Park และ D.S.Kim (2001) ได้ทำการศึกษาถึงความสามารถในการกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยใช้กระดองปูเปรียบเทียบกับตัวดูดซับชนิดอื่น ได้แก่ cation exchange resin , zeolite , granular activated carbon และ powder activated carbon โลหะที่นำมาศึกษาได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และโครเมียม ซึ่งกระดองปูมีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักได้ดีที่สุด สำหรับตัวดูดซับชนิดอื่นสามารถกำจัดโลหะหนักโดยเรียงลำดับตามนี้ cation exchange resin , zeolite , powder activated carbon และ granular activated carbon การกำจัดโลหะหนักด้วยเปลือกปูนั้น แคดเมียมสามารถถูกกำจัดไปได้มากที่สุด และสามารถกำจัดตะกั่วโครเมียม และทองแดง ได้ตามลำดับ

Schmuhl et al. (2001) ได้ศึกษาความสามารถของโคโคซานในการดูดซับไอออนทองแดงและไอออนโครเมียมในน้ำเสีย โดยการใช้โคโคซานชนิดที่มีการเชื่อมขวางด้วย Epichlorohydrin และชนิดที่ไม่มีการเชื่อมขวาง พบว่าการดูดซับไอออนโครเมียมในช่วงความเข้มข้น 10 ถึง 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ Langmuir และค่าความสามารถสูงสุดของโคโคซานชนิดที่มีการเชื่อมขวางและชนิดที่ไม่มีการเชื่อมขวางในการดูดซับไอออนโครเมียมเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 78 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับ การดูดซับไอออนทองแดงในช่วงความเข้มข้น 10 ถึง 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถอธิบายได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยสมการ $Freundlich$ โดยมีค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับไอออนทองแดงของโคโคซาน ทั้งสองชนิดมากกว่า 80 มิลลิกรัมต่อลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

1. เปลือกกุ้งและกระดองปู ใช้เป็นวัตถุดิบ
2. สารละลายสต็อกของแดงเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร (Stock solution copper)
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide , NaOH) เกรดวิเคราะห์
4. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid , HCl) เกรดวิเคราะห์
5. กรดไนตริก (Nitric acid , HNO₃) เกรดวิเคราะห์
6. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide , H₂O₂) เกรดการค้า

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี AA-680 ยี่ห้อ Shimadzu
2. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น MSB020 CX1.5 ยี่ห้อ SUNYO
3. เครื่องเขย่าสาร (Shaker) รุ่น Hetofrig CB60 VS ยี่ห้อ Heto
4. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น 251 Denver Instrument Company
5. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบละเอียด รุ่น TC - 254 Denver Instrument Company
6. ตู้อบ (Oven) รุ่น DIN 40050-IP20 ยี่ห้อ Schutzart
7. เครื่องกรองแบบลดความดัน รุ่น B-169 Vacuum System "BUCHI" Switzerland
8. เครื่องบดตัวอย่าง (Grinding machine)
9. ชุดเครื่องร่อน โดยใช้ตะแกรงขนาด 35,100 และ 250 เมช
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope, SEM)
11. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray diffraction, XRD)
12. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence, XRF)
13. เครื่องแก้วต่างๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
14. เดซิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

- 1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานทองแดงจากสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 50 มิลลิลิตร
- 2) เติมน้ำลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร
- 3) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร

3.2.2 การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกกุ้งและกระดองปู

- 1) นำเปลือกกุ้งและกระดองปูมาล้างน้ำให้สะอาด
- 2) แช่ลงในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10% เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 3) ล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด
- 4) นำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 5) ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 6) นำมาบดละเอียดโดยใช้เครื่องบด
- 7) นำไปร่อนให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 35, 100 และ 200 เมช
- 8) นำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 9) ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

3.2.3 ศึกษาผลของขนาดของเปลือกกุ้งและกระดองปูที่มีผลต่อการดูดซับ

- 1) ชั่งเปลือกกุ้ง ขนาด 35 – 100 เมช และ 100 – 200 เมช มาปริมาณ 4 กรัม
- 2) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของทองแดง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3) ปรับพีเอช ให้เป็น 5 ด้วย กรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล
- 4) นำไปแช่ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
- 5) นำสารละลายที่ได้ไปตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนสารละลายแยกออกเป็น 2 ชั้น จากนั้นจึงนำไปกรอง
- 6) นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี
- 7) เปลี่ยนตัวดูดซับเป็นกระดองปู โดยทำการทดลองตามการทดลองข้างต้นพร้อมทั้ง ทำหาคความคุมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของเปลือกกุ้งและกระดองปูเพื่อเลือกขนาดที่เหมาะสม

9) นำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.4 ศึกษาผลของปริมาณของตัวดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับ

1) นำเปลือกกุ้งที่เตรียมไว้ ขนาดที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาจำนวน 1, 2, 3 และ 4 กรัม

2) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของทองแดง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าพีเอชเป็น 5 โดยปรับค่าพีเอชด้วย กรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล

3) นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

4) นำสารละลายที่ได้ไปตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนสารละลายแยกออกเป็นสองชั้น จากนั้นจึงนำไปกรอง

5) นำสารละลายที่ได้จากการกรอง ไปวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

6) เปลี่ยนตัวดูดซับเป็นกระดองปู โดยทำการทดลองตามการทดลองข้างต้นพร้อมทั้งทำหาคความคุมด้วย

7) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของเปลือกกุ้งและกระดองปู เพื่อเลือกปริมาณของตัวดูดซับที่เหมาะสม

8) นำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.5 ศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับ

1) นำเปลือกกุ้งที่เตรียมไว้ ขนาดที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาปริมาณ 4 กรัม

2) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของทองแดง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าพีเอชเป็น 3, 5, 7 และ 9 โดยปรับค่าพีเอชด้วย กรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล

3) นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไปตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน จนสารละลายแยกออกเป็นสองชั้น จากนั้นนำไปกรอง

4) นำสารละลายที่ได้จากการกรอง ไปวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

5) เปลี่ยนตัวดูดซับเป็นกระดองปู โดยทำการทดลองตามการทดลองข้างต้นพร้อมทั้งทำหาคความคุมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของเปลือกกุ้งและกระดองปู เพื่อเลือกค่าพีเอชที่เหมาะสม
- 7) นำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.6 ศึกษาผลของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับ

- 1) นำเปลือกกุ้งที่เตรียมไว้ ขนาดที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาปริมาณ 4 กรัม
- 2) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของทองแดง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าพีเอชเป็น 5 โดยปรับค่าพีเอชด้วย กรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล
- 3) นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3, 5 และ 7 ชั่วโมง
- 4) นำสารละลายที่ได้ไปตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนสารละลายแยกออกเป็นสองชั้น จากนั้นจึงนำไปกรอง
- 5) นำสารละลายที่ได้จากการกรอง ไปวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี
- 6) เปลี่ยนตัวดูดซับเป็นกระดองปู โดยทำการทดลองตามการทดลองข้างต้นพร้อมทั้งทำชุดควบคุมด้วย
- 7) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของเปลือกกุ้งและกระดองปู เพื่อเลือกเวลาที่เหมาะสม
- 8) นำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.7 ศึกษาผลของค่าไอโซเทอมที่มีผลต่อการดูดซับ

- 1) นำเปลือกกุ้งที่เตรียมไว้ ขนาดที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาปริมาณ 4 กรัม
- 2) เติมน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของทองแดง 1, 3, 5 และ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่าพีเอชเป็น 5 โดยปรับค่าพีเอชด้วย กรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล
- 3) นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 4) นำสารละลายที่ได้ไปตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนสารละลายแยกออกเป็นสองชั้น จากนั้นจึงนำไปกรอง
- 5) นำสารละลายที่ได้จากการกรอง ไปวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี
- 6) เปลี่ยนตัวดูดซับเป็นกระดองปู โดยทำการทดลองตามการทดลองข้างต้นพร้อมทั้งทำชุดควบคุมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของเปลือกกุ้งและกระดองปู เพื่อเลือกค่าไอโซเทอมที่เหมาะสม
- 8) นำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.8 ศึกษาความสามารถในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์

- 1) นำเปลือกกุ้งที่เตรียมไว้ ขนาดที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาปริมาณ 4 กรัม
- 2) เติมน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของทองแดง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าพีเอชเป็น 5 โดยปรับค่าพีเอชด้วย กรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล
- 3) นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 ชั่วโมง
- 4) นำสารละลายที่ได้ไปตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนสารละลายแยกออกเป็นสองชั้น จากนั้นจึงนำไปกรอง
- 5) นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี
- 6) เปลี่ยนตัวดูดซับเป็นกระดองปู โดยทำการทดลองตามการทดลองข้างต้นพร้อมทั้งทำหาค่าความคุมด้วย

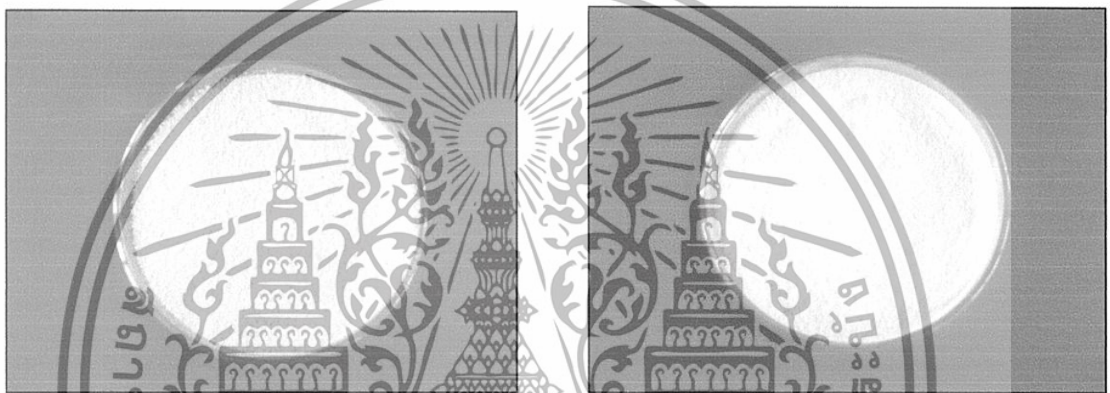
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของกระดองปูและเปลือกกุ้งสามารถนำเสนอผลการทดลองและอภิปรายผลดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของเปลือกกุ้งและกระดองปู



ขนาด 35 – 100 เมช

ขนาด 100 – 200 เมช

รูปที่ 4.1 ลักษณะกระดองปูที่ผ่านการบดและแยกขนาดแล้ว



ขนาด 35 – 100 เมช

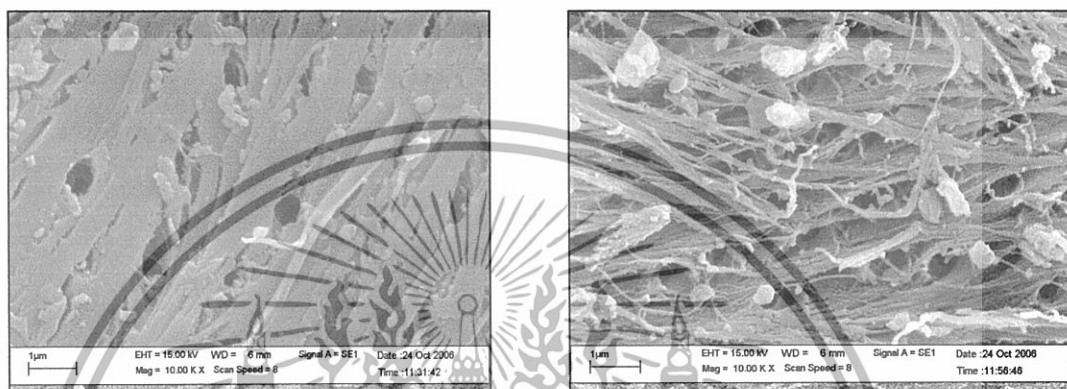
ขนาด 100 – 200 เมช

รูปที่ 4.2 ลักษณะของเปลือกกุ้งที่ผ่านการบดและแยกขนาดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ผลการศึกษาความเป็นรูพรุนของกระดองปูและเปลือกกุ้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน

ผลการศึกษาพบว่ากระดองปูมีความเป็นรูพรุนมากกว่าเปลือกกุ้ง ซึ่งส่งผลให้กระดองปูมีความสามารถในการดูดซับทองแดงได้มากกว่าเปลือกกุ้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.3



ก. เปลือกกุ้ง

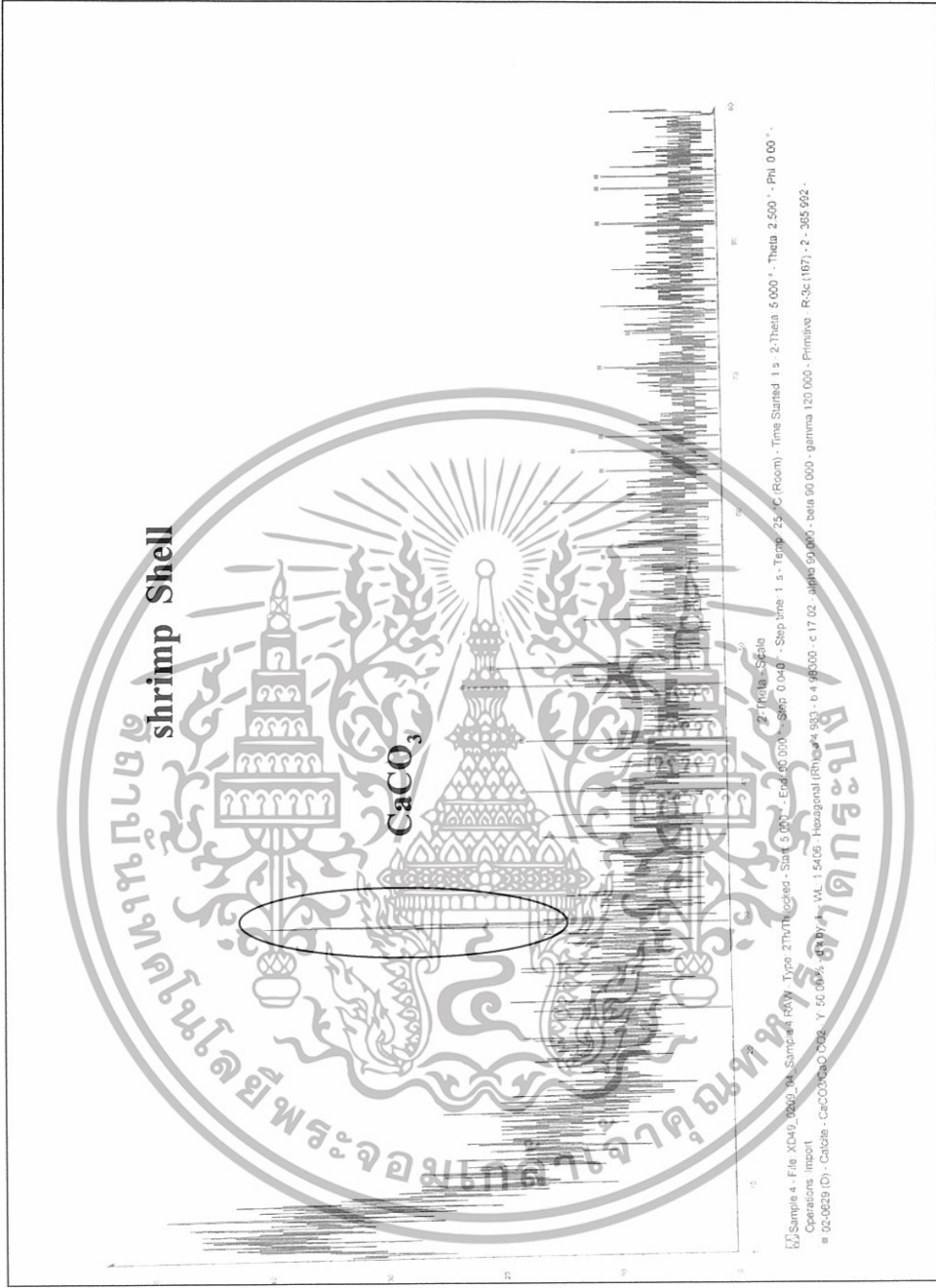
ข. กระดองปู

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะความเป็นรูพรุนของเปลือกกุ้ง (ก.) และกระดองปู (ข.) ที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน กำลังขยาย 10,000 เท่า

4.1.2 ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกและองค์ประกอบของกระดองปูและเปลือกกุ้ง

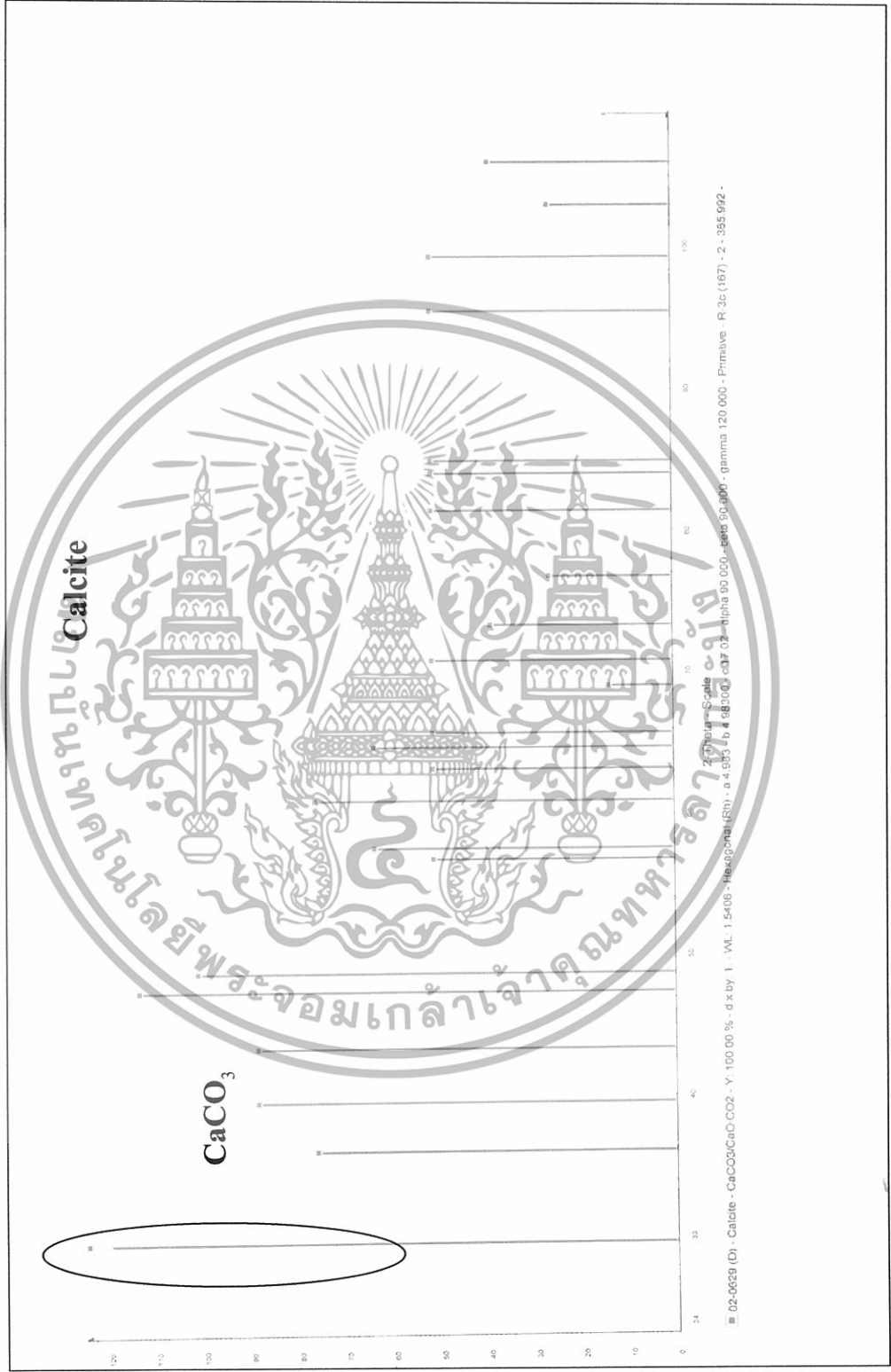
ผลการศึกษาพบว่าที่มุม 2 theta เปลือกกุ้งมีพีคที่มีลักษณะเด่น คือ ตำแหน่งประมาณ 29.5 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งบ่งบอกว่าโครงสร้างของเปลือกกุ้งมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ ส่วนกระดองปูมีพีคที่มีลักษณะเด่น คือ ตำแหน่งประมาณ 29.5 องศาเช่นเดียวกับเปลือกกุ้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งบ่งบอกว่าโครงสร้างของเปลือกกุ้งมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกกุ้งที่ขยวมมาตรฐาน Calcite (CaCO_3) ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงมาตรฐานของ Calcite (CaCO₃) ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกุ้งและกระดองปูเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกุ้งและกระดองปูด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ พบว่าในเปลือกกุ้งและกระดองปูมีสารประกอบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจะมีแคลเซียมออกไซด์ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ทั้งในเปลือกกุ้งและกระดองปู โดยกระดองปูจะมีแคลเซียมออกไซด์ เป็นองค์ประกอบหลักมากกว่าในเปลือกกุ้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของเปลือกกุ้งและกระดองปูเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

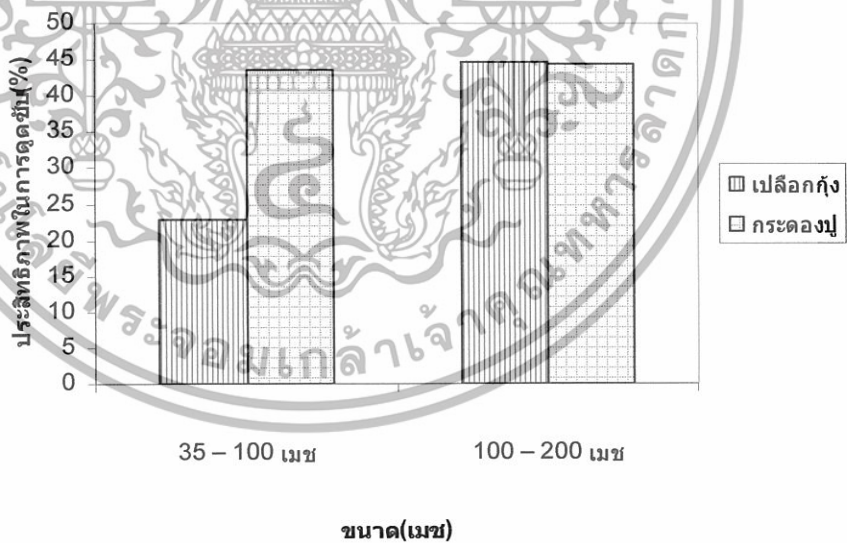
องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ	
	เปลือกกุ้ง	กระดองปู
MgO	2.5900	2.4300
Na ₂ O	-	1.4300
SiO ₂	0.6770	0.3730
Al ₂ O ₃	0.3820	-
P ₂ O ₅	11.0000	4.8000
SO ₃	3.5300	0.6870
Cl		0.3240
K ₂ O	0.2610	0.1610
CaO	77.5000	86.7000
Fe ₂ O ₃	0.5890	0.4470
CuO	0.5230	0.3500
MnO	-	0.0838
ZnO	0.1280	-
Br	0.1670	0.0594
SrO	1.2500	1.5200
ZrO ₂	0.1360	0.1470
Rh	0.1590	0.1370
Pd	0.2750	0.2300
HfO ₂	0.3410	0.2360
Re	0.1410	-
Compton	0.6800	0.7100
Rayleigh	0.8700	0.8800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เปลือกกุ้งและกระดองปู

4.2.1 ผลการศึกษาขนาดที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งและกระดองปู

จากการศึกษาขนาดของเปลือกกุ้งและกระดองปูที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบขนาดของเปลือกกุ้งและกระดองปู 35-100 และ 100-200 เมช ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เปลือกกุ้งขนาด 35-100 และ 100-200 เมช มีค่าเป็นร้อยละ 22.91 และ 44.76 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้กระดองปูขนาด 35-100 และ 100-200 เมช มีค่าเป็นร้อยละ 43.60 และ 44.34 ตามลำดับ พบว่าเปลือกกุ้งและกระดองปูที่มีขนาด 100-200 เมช มีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงได้สูงกว่าเปลือกกุ้งและกระดองปูที่มีขนาด 35-100 เมช เนื่องจากประสิทธิภาพในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ จากผลการทดลองจึงเลือกเปลือกกุ้งและกระดองปูขนาด 100-200 เมช เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

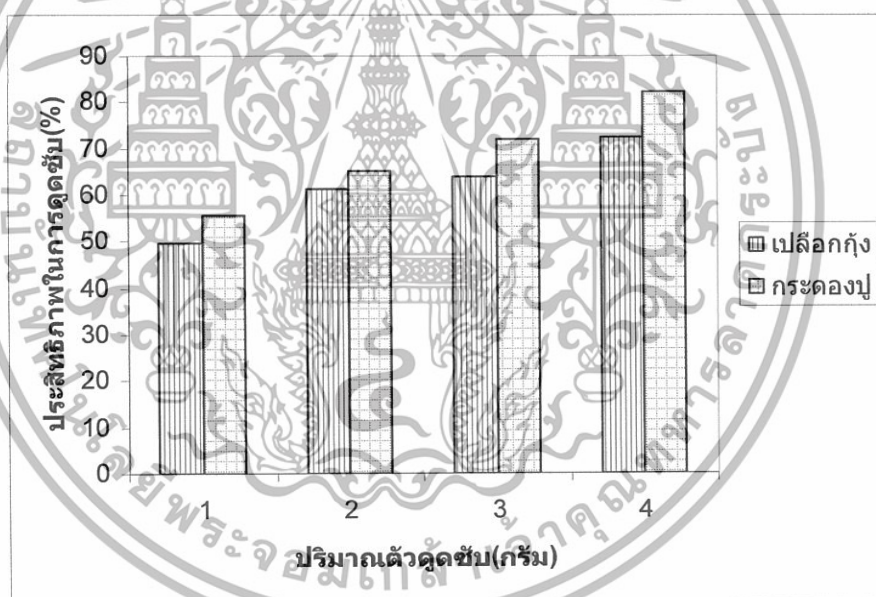


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับประสิทธิภาพการดูดซับ(%) ของเปลือกกุ้งและกระดองปู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของ เปลือกกุ้งและกระดองปู

จากการศึกษาปริมาณของตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการแปรค่าปริมาณของตัวดูดซับเป็น 1, 2, 3 และ 4 กรัม ตามลำดับ ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เปลือกกุ้งเป็นตัวดูดซับ มีค่าเป็นร้อยละ 62.63, 64.54, 65.59 และ 69.18 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้กระดองปูเป็นตัวดูดซับ มีค่าเป็นร้อยละ 67.15, 68.24, 73.15 และ 80.44 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม พบว่าปริมาณของตัวดูดซับที่ 4 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงได้สูงสุด เนื่องจากประสิทธิภาพในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวดูดซับ จากผลการทดลองจึงเลือกปริมาณของตัวดูดซับที่ 4 กรัม เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

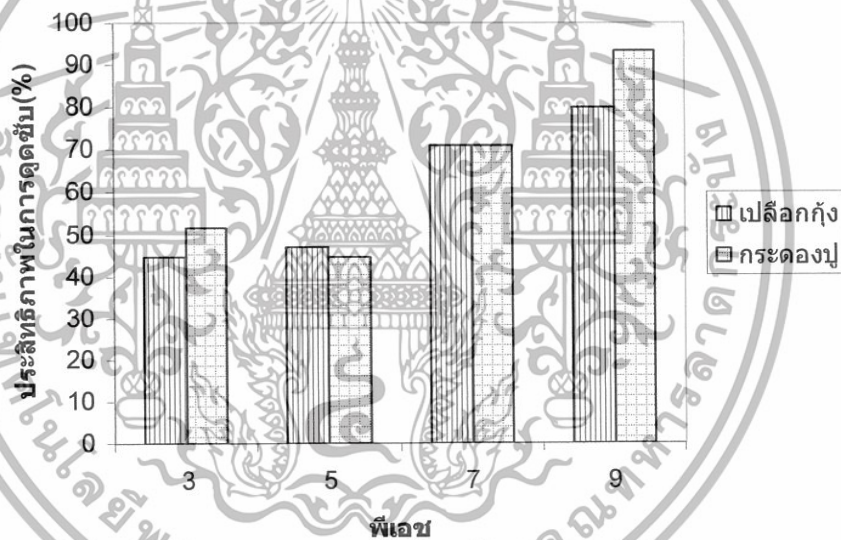


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับประสิทธิภาพการดูดซับ(%) ของเปลือกกุ้งและกระดองปู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งและกระดองปู

จากการศึกษาพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกกุ้งที่ค่าพีเอช 3, 5, 7 และ 9 มีค่าเป็นร้อยละ 44.38, 46.76, 70.95 และ 80.23 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้กระดองปูที่ค่าพีเอช 3, 5, 7 และ 9 มีค่าเป็นร้อยละ 51.45, 44.34, 71.01 และ 93.49 ตามลำดับ ซึ่งที่ค่าพีเอช ≥ 5 จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงได้มากขึ้น เนื่องจากประสิทธิภาพในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช จากผลการทดลองทำให้เลือกค่าพีเอช 5 ไปใช้ในการทดลองต่อไป



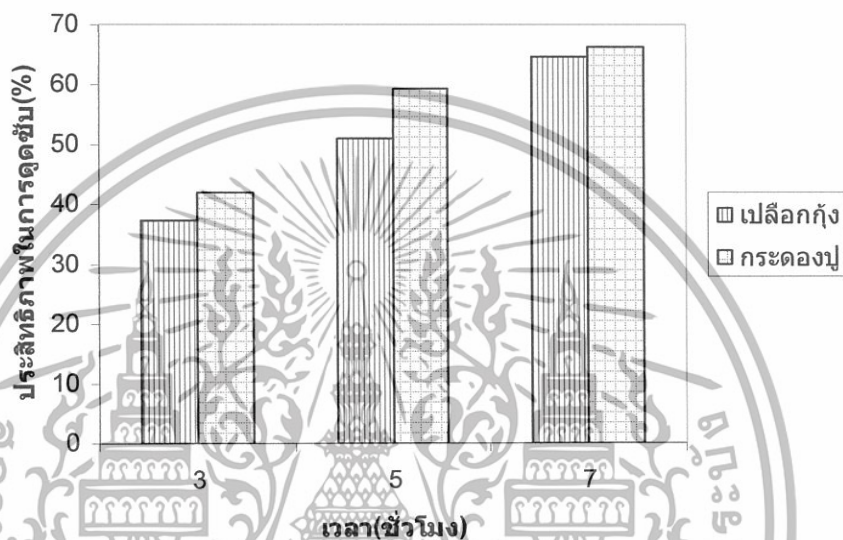
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับประสิทธิภาพการดูดซับ(%) ของเปลือกกุ้งและกระดองปู

4.2.4 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งและกระดองปู

จากการศึกษาเวลาของที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการแปรค่าระยะเวลาในการดูดซับเป็น 3, 5 และ 7 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกกุ้งที่ระยะเวลาในการดูดซับเป็น 3, 5 และ 7 ชั่วโมง มีค่าเป็นร้อยละ 37.43, 51.10 และ 64.55 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้กระดองปู ที่ระยะเวลาในการดูดซับเป็น 3, 5 และ 7 ชั่วโมง มีค่าเป็นร้อยละ 41.87, 59.33 และ 66.45 ตามลำดับ เนื่องจากที่ระยะเวลาในการดูดซับ 7 ชั่วโมงมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงได้สูงสุด เนื่องจากประสิทธิภาพในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับค่าระยะเวลาในการดูดซับ จากผลการทดลองทำให้เลือกระยะเวลาในการดูดซับ 7 ชั่วโมงไปใช้ในการทดลองต่อไป



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ ประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ของเปลือกกุ้งและกระดองปู

4.2.5 ผลการศึกษาค่าไอโซเทอมที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งและกระดองปู

จากการศึกษาค่าไอโซเทอมที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการแปรค่าความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 1, 3, 5 และ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยใช้อัตราในการเขย่าคงที่ คือ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และปรับค่าพีเอชเป็น 5 ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลจากการศึกษาไอโซเทอมของเปลือกกุ้ง

ความเข้มข้นเดิม(mg/L)	ความเข้มข้นของทองแดงที่เหลือหรือค่า C(mg/L)	log C	ค่า X/M (mg/g)	log (X/M)	%Removal
1	0.3051	-0.5156	0.1737	-0.7602	59.10
3	0.4433	-0.3533	0.6392	-0.1944	73.85
5	0.6298	-0.2008	1.0926	0.0385	68.37
7	0.6427	-0.1920	1.5893	0.2012	74.81

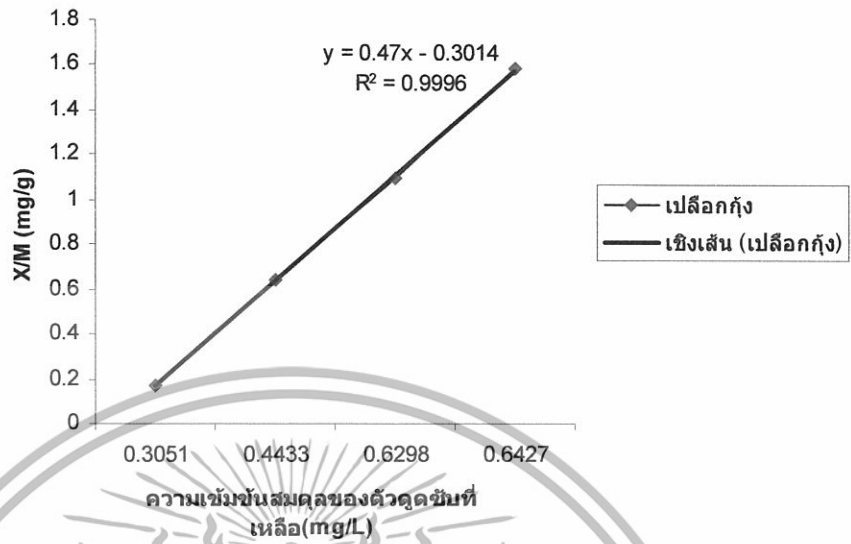
ตารางที่ 4.3 แสดงผลจากการศึกษาไอโซเทอมของกระดองปู

ความเข้มข้นเดิม(mg/L)	ความเข้มข้นของทองแดงที่เหลือหรือค่า C(mg/L)	log C	ค่า X/M (mg/g)	log (X/M)	%Removal
1	0.0226	-1.6459	0.2444	-0.6119	96.97
3	0.1874	-0.7272	0.7032	-0.1529	88.94
5	0.1258	-0.9003	1.1286	0.0525	93.68
7	0.2275	-0.6430	1.6930	0.2287	91.12

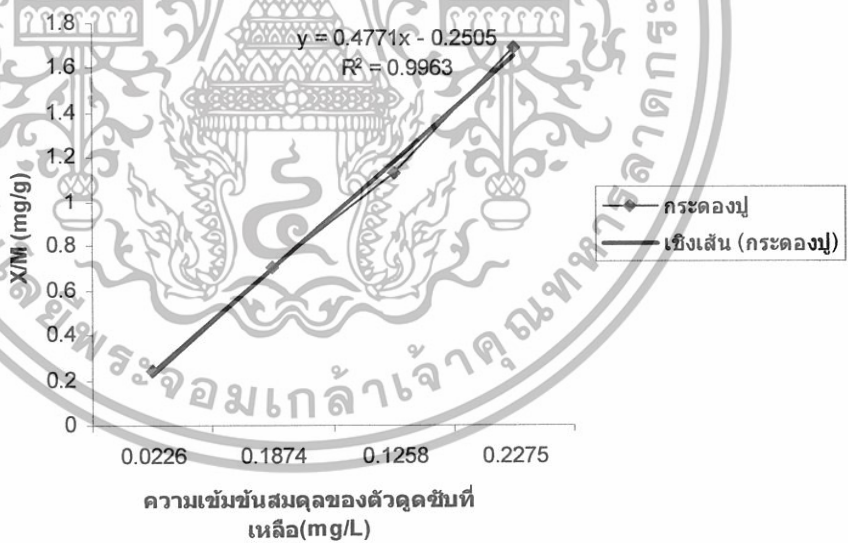
จากการศึกษาโดยทำการแปรค่าความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 1, 3, 5 และ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งได้ผลเป็นร้อยละ 11.08, 66.18, 79.67 และ 85.82 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของกระดองปูได้ผลเป็นร้อยละ 91.10, 85.64, 95.52 และ 94.87 ตามลำดับ

ผลจากตารางที่ 4.2 และ 4.3 สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ ความเข้มข้นของทองแดงที่เหลือเพื่อคำนวณหาค่าคงที่ตามสมการ Freundlich ได้ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ ความเข้มข้นสมมูลของทองแดงที่เหลือของ เปลือกกุ้ง



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ ความเข้มข้นสมมูลของทองแดงที่เหลือของ กระดองปู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมการ Freundlich

$$X/M = KC^{1/n}$$

หรือ
เมื่อ $\log(X/M) = \log K + 1/n \log C$

- X = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ(mg)
- M = ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (g)
- C = ความเข้มข้นสมดุลของตัวดูดซับที่เหลือ (mg/L)
- K = ค่าคงที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
- 1/n = ความชันของเส้นตรง

จากรูปที่ 4.10 จะได้สมการเส้นตรงดังนี้

จะได้
$$\begin{aligned} X/M &= 0.4700 C^{0.4771} \\ \log(X/M) &= 0.4771 \log C - 0.2505 \end{aligned} \dots\dots\dots 4.1$$

และ จากรูปที่ 4.11 จะได้สมการเส้นตรงดังนี้

จะได้
$$\begin{aligned} X/M &= 0.4771 C^{0.4996} \\ \log(X/M) &= 0.4996 \log C - 0.2505 \end{aligned} \dots\dots\dots 4.2$$

จากสมการที่ 4.1 และ 4.2 จะได้ค่า 1/n และ ค่า K ของเปลือกกุ้งเป็น 0.4700 และ 0.4996 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนค่า 1/n และ ค่า K ของกระดองปูเป็น 0.4771 และ 0.5617 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำไปหาปริมาณของเปลือกกุ้ง และ กระดองปูที่ใช้ในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ และจากค่า R² ของเปลือกกุ้ง และ กระดองปูเท่ากับ 0.9996 และ 0.9963 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้ง และ กระดองปูนั้น จะเป็นไปตามสมการไอโซเทอมของ Freundlich ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 ข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้งและกระดองปูในน้ำเสียสังเคราะห์

จากผลการทดลองการดูดซับทองแดงโดยใช้เปลือกกุ้งและกระดองปูขนาด 100-200 เมช ที่น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการปั่นกวนที่อัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และปรับค่าพีเอชเป็น 5 ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.12 จากการทดลองพบว่าเปลือกกุ้งมีความสามารถในการดูดซับทองแดงได้เป็น 4.2032 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับเป็นร้อยละ 69.30 ส่วนกระดองปูมีความสามารถในการดูดซับทองแดงได้เป็น 4.4618 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับเป็นร้อยละ 76.18 เราจึงสามารถสรุปได้ว่ากระดองปูมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงกว่าเปลือกกุ้ง



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้งและกระดองปูในน้ำเสียสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกกุ้งและกระดองปูและ สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 คุณสมบัติของเปลือกกุ้งและกระดองปู

จากการศึกษาโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกกุ้งและกระดองปู โดยเปลือกกุ้งและกระดองปูนั้น จะผ่านการทำความสะอาดโดยทำการแช่ในสารละลาย 10% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น แล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเคซิเตอร์ จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดแล้วนำไปร่อนให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่ากระดองปูมีความเป็นรูพรุนมากกว่าเปลือกกุ้ง ซึ่งส่งผลให้กระดองปูมีความสามารถในการดูดซับทองแดงได้มากกว่าเปลือกกุ้ง เมื่อทำการศึกษาโครงสร้างผลึกและองค์ประกอบของกระดองปูและเปลือกกุ้ง โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffraction, XRD) พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเปลือกกุ้งและกระดองปูนั้นจะประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งพบว่าในเปลือกกุ้งจะมีแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นองค์ประกอบหลักมากกว่าในกระดองปู และเมื่อใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเปลือกกุ้งและกระดองปูจะประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ทั้งในเปลือกกุ้งและกระดองปู ซึ่งกระดองปูจะมี แคลเซียมออกไซด์ เป็นองค์ประกอบหลักมากกว่าในเปลือกกุ้ง

5.2 สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้งและกระดองปู

5.2.1 การศึกษาผลของขนาดของเปลือกกุ้งและกระดองปูในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าเปลือกกุ้งและกระดองปู ขนาด 100-200 เมช จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงได้ดีที่สุด โดยจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงเป็นร้อยละ 44.76 และ 44.34 ตามลำดับ

5.2.2 การศึกษาปริมาณของตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสีย

สังเคราะห์ด้วย เปลือกกุ้งและกระดองปู ขนาด 100-200 เมช พบว่าที่ปริมาณของตัวดูดซับจำนวนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 กรัม จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงได้ดีที่สุด โดยจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งและกระดองปูเป็นร้อยละ 69.18 และ 80.44 ตามลำดับ

5.2.3 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกกุ้งและกระดองปู ขนาด 100-200 เมช พบว่าที่ค่าพีเอชมากกว่าหรือเท่ากับ 5 จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงได้มากขึ้น

5.2.4 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกกุ้งและกระดองปู ขนาด 100-200 เมช พบว่าที่ระยะเวลา 7 ชั่วโมง จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงได้ดีที่สุด โดยจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งและกระดองปูเป็นร้อยละ 64.55 และ 66.45 ตามลำดับ

5.2.5 การศึกษาค่าไอโซเทอมที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกกุ้งและกระดองปู ขนาด 100-200 เมช พบว่าการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกกุ้งและกระดองปูเป็นไปตามสมการไอโซเทอมของ Freundlich ซึ่งค่า R^2 ของเปลือกกุ้งและกระดองปูเท่ากับ 0.9996 และ 0.9963 ตามลำดับ

5.3 ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้งและกระดองปูโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเปลือกกุ้งและกระดองปูโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ที่สภาวะต่างๆ ดังนี้ โดยใช้เปลือกกุ้งและกระดองปูขนาด 100-200 เมช ที่น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการปั่นกวนที่อัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และปรับค่าพีเอชเป็น 5 พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกุ้งและกระดองปูเป็นร้อยละ 69.30 และ 76.18 ตามลำดับ เราจึงสามารถสรุปได้ว่ากระดองปูมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงกว่าเปลือกกุ้ง

5.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

5.4.1 ในขั้นตอนการศึกษาความรู้พูนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ควรทำการศึกษาที่ขนาด 35-100 เมชเพิ่มเติม

5.4.2 ในขั้นตอนการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารละลายทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ ควรทำการศึกษาโดยเพิ่มระยะเวลาให้มากขึ้น เพื่อตรวจสอบว่าที่เวลา 7 ชั่วโมง ที่ได้ทำการศึกษาแล้วสมดุลหรือไม่

5.4.3 ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการศึกษาเลือกใช้ความเข้มข้นเป็น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากต้องการศึกษาประสิทธิภาพของความเข้มข้นทองแดงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำเสียสังเคราะห์ในช่วงที่ใกล้กับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

5.4.4 ในขั้นตอนการศึกษาความมีรุกรุ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ควรทำการศึกษาที่ขนาด 35-100 เมชเพิ่มเติม

5.4.5 ในขั้นตอนการศึกษาขนาด พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของกระดองปู ที่ขนาด 35-100 เมช และขนาด 100-200 เมช มีประสิทธิภาพแทบจะไม่ต่างกัน เนื่องจากว่ากระดองปูมีความเป็นรุกรุ่นมากอยู่แล้ว แม้ว่าจะทำการบดและนำไปร่อนให้ได้ขนาดเล็กลงกว่าเดิมเท่าไรก็ตาม ความเป็นรุกรุ่นของกระดองปูจะเพิ่มจากเดิมไม่มากนัก

5.4.6 ในขั้นตอนการศึกษาพีเอช ที่เลือกค่าพีเอช 3, 5, 7 และ 9 เนื่องจากว่าต้องการทราบค่าพีเอชที่สารละลายทองแดงจะตกตะกอนได้ เมื่อเทียบกับการคำนวณค่าคงที่การละลายของสารละลายทองแดง ซึ่งได้พีเอชประมาณ 6.3 และต้องการทราบประสิทธิภาพการดูดซับในช่วงพีเอชที่ต่ำกว่าและสูงกว่าของจุดที่สารละลายสามารถตกตะกอนได้

5.4.7 การประกันคุณภาพการวิเคราะห์

5.4.7.1 การเก็บรักษาตัวอย่าง

เก็บรักษาสภาพโดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น ลงในสารละลายทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ และปรับพีเอชให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวทดสอบ

5.4.7.2 การทำกราฟมาตรฐานของสารละลายทองแดงเข้มข้น 3, 6, 9, 12 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร มีดังนี้

1) ปิเปิดสารละลายมาตรฐานทองแดงจากสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มาจำนวน 0.75, 1.50, 2.25, 3.00 และ 3.75 มิลลิลิตร

2) เติมนลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

3) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

5.4.7.3 การทำชุดควบคุม

นำสารละลายทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่ใส่ตัวดูดซับมาทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ข้อเสนอแนะ

- 5.5.1 ควรทำการศึกษาแบบคอถัมน์(แบบต่อเนื่อง)เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูคัชบของเปลือกกุ้งและกระดองปู
- 5.5.2 ควรมีการศึกษาเปลือกกุ้งและกระดองปูชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำมาทำการดูคัชบโลหะหนักได้
- 5.5.3 ควรทำการศึกษาการใช้เปลือกกุ้งและกระดองปูในการดูคัชบโลหะหนักชนิดอื่นๆ
- 5.5.4 ควรทำการศึกษาถึงแนวทางในการกำจัดเปลือกกุ้งและกระดองปูที่ทำการดูคัชบทองแดง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานของสารละลายทองแดง

Calibration-Cu



Conc	Signal	$Y = 0.07680X + 0.0135$
0.0000	0.001	Fit : 0.9977
3.0000	0.323	
6.0000	0.500	
9.0000	0.654	
12.0000	0.922	
15.0000	1.064	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงผลของขนาดของเปลือกกุ้งและกระดองปูต่อการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้

- ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อัตราเร็วในการปั่นกววนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที
- ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 5 ชั่วโมง
- ค่าพีเอชเท่ากับ 5

ขนาด	ครั้งที่	Cu ²⁺		เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	
กุ้ง 35 – 100 เมช	Blank	5	1.5007	69.99
	1	5	1.1569	22.91
กุ้ง 100 – 200 เมช	Blank	5	1.5007	69.99
	1	5	0.7989	46.76
ปู 35 – 100 เมช	Blank	5	1.5007	69.99
	1	5	0.8464	43.60
ปู 100 – 200 เมช	Blank	5	1.5007	69.99
	1	5	0.8353	44.34

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)

$$= \frac{(\text{ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นของทองแดงที่เหลือ})}{(\text{ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น})} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กุ้งขนาด 35 – 100 เมช

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกำจัด (\%)} \text{ ของ Blank} = \frac{5 - 1.5007}{5} \times 100 = 69.99 \%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกำจัด (\%)} \text{ ของ Sample} = \frac{1.5007 - 1.1569}{1.5007} \times 100 = 69.99 \%$$

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงผลการศึกษาปริมาณตัวดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้

- ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- เปลือกกุ้งขนาด 100 – 200 เมช
- อัตราเร็วในการปั่นควนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที
- ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 5 ชั่วโมง
- ค่าพีเอชเท่ากับ 5

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ครั้งที่	Cu ²⁺		เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	
1	Blank	5	2.8724	42.55
	1	5	1.0734	62.63
2	Blank	5	2.6099	47.80
	1	5	0.9255	64.54
3	Blank	5	2.5613	48.77
	1	5	0.8813	65.59
4	Blank	5	2.3682	52.64
	1	5	0.7299	69.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงผลการศึกษาปริมาณตัวดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์(ต่อ) โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้

- ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- กระจกบรูขนาด 100 – 200 เมช
- อัตราเร็วในการปั่นกววนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที
- ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 5 ชั่วโมง
- ค่าพีเอชเท่ากับ 5

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ครั้งที่	Cu ²⁺		เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	
1	Blank	5	2.8724	42.55
	1	5	0.9436	67.15
2	Blank	5	2.6099	47.80
	1	5	0.8288	68.24
3	Blank	5	2.5613	48.77
	1	5	0.6878	73.15
4	Blank	5	2.3682	52.64
	1	5	0.4632	80.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ตารางแสดงผลของค่าพีเอชต่อการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้

- ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- เปลือกกุ้งขนาด 100 – 200 เมช
- อัตราเร็วในการปั่นกววนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที
- ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 5 ชั่วโมง

พีเอช	ครั้งที่	Cu ²⁺		
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)
3	Blank	5	1.8609	62.78
	1	5	1.0350	44.38
5	Blank	5	1.5007	69.99
	1	5	0.7989	46.76
7	Blank	5	0.2840	94.32
	1	5	0.9779	70.95
9	Blank	5	0.0689	98.63
	1	5	0.9748	80.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ตารางแสดงผลของค่าพีเอชต่อการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์(ต่อ)
โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้

- ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- กระจกอนุภาค 100 – 200 เมช
- อัตราเร็วในการปั่นกววนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที
- ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 5 ชั่วโมง

พีเอช	ครั้งที่	Cu ²⁺		
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)
3	Blank	5	1.8609	62.78
	1	5	0.9035	51.45
5	Blank	5	1.5007	69.99
	1	5	0.8353	44.34
7	Blank	5	0.2840	94.32
	1	5	0.9795	71.01
9	Blank	5	0.0689	98.63
	1	5	1.0587	93.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ตารางแสดงผลของเวลาในการสัมผัสต่อการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้

- ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- เปลือกกุ้งขนาด 100 – 200 เมช
- อัตราเร็วในการปั่นกววนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที
- ค่าพีเอชเท่ากับ 5

เวลา(ชั่วโมง)	ครั้งที่	Cu ²⁺		
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)
3	Blank	5	2.8778	42.44
	1	5	1.8006	37.43
5	Blank	5	2.5073	49.85
	1	5	1.2260	51.10
7	Blank	5	2.3610	52.78
	1	5	0.8370	64.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ตารางแสดงผลของเวลาในการสัมผัสต่อการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์(ต่อ) โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้

- ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- กระดองปูขนาด 100 – 200 เมช
- อัตราเร็วในการปั่นกววนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที
- ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 5 ชั่วโมง

เวลา(ชั่วโมง)	ครั้งที่	Cu ²⁺		
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)
3	Blank	5	2.8778	42.44
	1	5	1.6730	41.87
5	Blank	5	2.5073	49.85
	1	5	1.0197	59.33
7	Blank	5	2.3610	52.78
	1	5	0.7920	66.45

ตารางที่ ข.5 ตารางแสดงผลของค่าไอโซเทอมต่อการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้

- เปลือกกุ้งขนาด 100 – 200 เมช
- อัตราเร็วในการปั่นกววนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที
- ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 24 ชั่วโมง
- ค่าพีเอชเท่ากับ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าไอโซโทม (mg/L)	ครั้งที่	Cu ²⁺		
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)
1	Blank	1	0.2540	65.95
	1	1	0.4780	-8.82
	2	1	0.2943	-1.59
	3	1	0.1431	43.66
เฉลี่ย				11.08
3	Blank	3	1.3050	56.50
	1	3	0.5735	56.05
	2	3	0.4551	65.13
	3	3	0.3013	76.91
เฉลี่ย				66.18
5	Blank	5	3.0092	39.82
	1	5	0.5187	82.76
	2	5	0.9008	70.07
	3	5	0.4699	84.38
เฉลี่ย				79.07
7	Blank	7	4.4386	36.59
	1	7	1.1031	75.15
	2	7	0.5325	88.00
	3	7	0.2924	93.41
เฉลี่ย				85.82

ตารางที่ ข.5 ตารางแสดงผลของค่าไอโซโทมต่อการดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์(ต่อ)
โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้

- กระจกอนุขนาด 100 – 200 เมช
- อัตราเร็วในการปั่นกววนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที
- ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 24 ชั่วโมง

ค่าพีเอชเท่ากับ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าไอโซเทอม (mg/L)	ครั้งที่	Cu ²⁺		
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)
1	Blank	1	0.2540	65.95
	1	1	0.0092	96.38
	2	1	0.0256	89.92
	3	1	0.0330	87.01
เฉลี่ย				91.10
3	Blank	3	1.3050	56.50
	1	3	0.0219	98.32
	2	3	0.4544	65.18
	3	3	0.0860	93.41
เฉลี่ย				85.64
5	Blank	5	3.0092	39.82
	1	5	0.1132	96.24
	2	5	0.1563	94.81
	3	5	0.1080	96.41
เฉลี่ย				95.52
7	Blank	7	4.4386	36.59
	1	7	0.1344	96.97
	2	7	0.3245	92.69
	3	7	0.2236	94.96
เฉลี่ย				94.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ตารางแสดงผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับในน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้

- ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- เปลือกกุ้งและกระดองปูขนาด 100 – 200 เมช
- อัตราเร็วในการปั่นกววนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที
- ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 7 ชั่วโมง
- ค่าพีเอชเท่ากับ 5

ตัวดูดซับ	ครั้งที่	Cu ²⁺		เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	
กุ้ง	Blank	5	2.5956	48.09
	1	5	0.7968	69.30
ปู	Blank	5	2.2596	54.81
	1	5	0.5382	76.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงและน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง

1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.1.1) ippet สารละลายมาตรฐานทองแดงจากสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มาจำนวน 10 มิลลิลิตร

1.1.2) เติมน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

1.1.3) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

1.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 3, 6, 9, 12 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.2.1) ippet สารละลายมาตรฐานทองแดงจากสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มาจำนวน 0.75, 1.50, 2.25, 3.00 และ 3.75 มิลลิลิตร

1.2.2) เติมน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

1.2.3) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

1.3 เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.1) ippet สารละลายมาตรฐานทองแดงจากสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 50 มิลลิลิตร

1.3.2) เติมน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร

1.3.3) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า “ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)” รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการ โรงงานอุตสาหกรรมที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคณงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

(2) ทึดีสเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

2.1 ค่าทึดีสเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity)

มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า ทึดีสเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า ทึดีสเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

4.1 ปรอท (Mercury) ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 เซเลเนียม (Selenium) ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 แคดเมียม (Cadmium) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.4 ตะกั่ว (Lead) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.5 อาร์เซนิก (Arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.6 โครเมียม (Chromium)

4.6.1 Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.6.2 Trivalent Chromium ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.7 บาร์เรียม (Barium) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.8 นิกเกิล (Nickel) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.9 ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.10 สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.11 แมงกานีส (Manganese) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(10) เพสตีไซด์ (Pesticide) ต้องไม่มี

(11) อุณหภูมิ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส

(12) สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(15) ค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม

กำหนด แต่งตั้ง ไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) ค่า ทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่งตั้ง ไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่า ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้อง ไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

- (1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)
- (2) การตรวจสอบค่า ทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง
- (3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)
- (4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิด ไคเร็คแอสไพเรชัน (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิด อินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิก และเซลีนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิด ไฮไดรด์ เจเนอเรชัน (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชัน สเปกโตรสโคปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลีคัพเพิล พลาสมา
(Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน โคลด์ เวปอร์
เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

- (5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไทเตรท (Titrate)
- (6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีน บาร์บิทูริกแอซิด
(Pyridine-Barbituric Acid)
- (7) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)
- (8) การตรวจสอบค่าสารประกอบพีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี 4-อะมิโนแอนติไพรีน
ไพรีน (Distillation, 4-Aminoantipyrine)
- (9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอโดเมตริก (Iodometric Method)
- (10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธี
ก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)
- (11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
- (12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนัก
ของน้ำมันและไขมัน
- (13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ
20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ให้ความเห็นชอบ
- (14) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาล์ (Kjeldahl)
- (15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียม ไดโครเมต (Potassium
Dichromate Digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือ
วิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for
the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, American
Water Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนด
ไว้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539
 ไชยวัฒน์ สิ้นสุวงศ์
 (นายไชยวัฒน์ สิ้นสุวงศ์)
 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

(นางสาววันเพ็ญ คุ่มสวดก)

เจ้าหน้าที่บริหารงานธุรการ 6

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52 ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS)

เทคนิคทาง AAS เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่งซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำ และมีสภาพไวสูง เป็นเทคนิคที่เฉพาะดีมากประกอบกับค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ก็ไม่สูงมากนัก ดังนั้นห้องปฏิบัติการที่ทันสมัยโดยทั่วไปจะมีเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีอยู่ ด้วยเสมอความสามารถของเทคนิคนี้สูงมากเพราะสามารถวิเคราะห์ต่าง ๆ ได้ถึง 64 ธาตุ ซึ่งนับว่ามากพอสมควร สำหรับเครื่องมือเพียงอย่างเดียว ทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ปี ค.ศ. 1953 Walsh ได้สร้างความสนใจและแสดงให้เห็นถึงประโยชน์และข้อดีต่าง ๆ ของการใช้อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งในขณะนั้นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ธาตุทางสเปกโทรสโกปี ได้แก่ เทคนิคคัลเลอริเมตรี (colorimetry) และ เทคนิคทางอะตอมมิกอิมิสชันสเปกโทรสโกปี (atomic emission Spectroscopy) และในปี ค.ศ. 1955 Walsh ได้พัฒนาเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (atomic absorption Spectroscopy) ขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์ธาตุได้อย่างกว้างขวาง ช่วยทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น และได้เปรียบกว่าการใช้วิธีทางอะตอมมิกอิมิสชัน ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้อยู่มาก

หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชัน (Principles of Atomic Absorption)

อะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน เช่น อะตอมของโซเดียมจะดูดกลืนได้ดีที่ความยาวคลื่น 589 nm เพราะแสงที่มีความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของโซเดียมอะตอมเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสถานะกระตุ้น ดังรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าความยาวคลื่นเหล่านี้จะเป็น spectroscopicline ของอะตอมมิกสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่นพลังงานความร้อนจากเปลวไฟหรือความร้อนจากไฟฟ้าเป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดพลังงานแตกตัว (dissociation) หรือเปลี่ยนเป็นไอ (vaporization) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น หรืออาจกลายเป็นไอออกก็ได้

1. อะตอมมิกแอบซอร์พชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อะตอมมิกอิมิสซัน

3. อะตอมมิกฟลูออเรสเซนซ์

การเกิดอะตอมมิกอิมิสซัน อะตอมมิกอิมิสซันและอะตอมมิกฟลูออเรสเซนซ์นั้น มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นการเกิดแตรอนซิซันจากสถานะพื้น ไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก (first excited) มีด้วยกัน 3 แบบ คือ

แบบที่ 1 เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้น ไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก โดยการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนเป็นอะตอมมิกอิมิสซัน

แบบที่ 2 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากความร้อน ทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะไปยังพลังงานกระตุ้นระดับแรกแล้วปล่อยพลังงานออกมา เมื่อกลับเข้าสู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนออกมาแล้วเรียกว่า อะตอมมิกอิมิสซัน

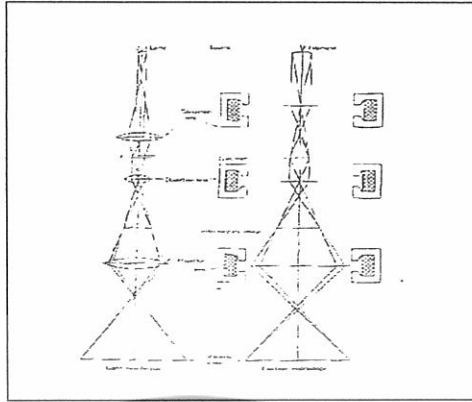
แบบที่ 3 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากโฟตอนที่มาจากสเปคตรัมทำให้เปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้น เมื่อกลับมาสู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนออกมา เรียกว่าเป็นการเกิดอะตอมมิกฟลูออเรสเซนซ์

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope)

หลักการเบื้องต้นของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

การพัฒนากล้องจุลทรรศน์เพื่อให้เกิดการมองเห็น โครงสร้างไมโครด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจนนั้น มีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการ คือ 1. ความสามารถในการแจกแจง (resolving power) 2. กำลังขยาย (magnification) 3. ความคมชัดและความชัดเจนของภาพ (focus and contrast) องค์ประกอบทั้ง 3 ประการที่กล่าวถึงนี้ ขึ้นกับโครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์ ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของสื่อกลางที่ช่วยให้เกิดการมองเห็น ระบบเลนส์ที่ทำให้เกิดกำลังขยาย และอุปกรณ์ประกอบที่ช่วยลดความผิดเพี้ยนของภาพรวมทั้งความคมชัด ไม่ว่าจะเป็นกล้องจุลทรรศน์แบบแสงหรือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนก็ตาม จะมีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายกัน ดังแสดงในภาพโครงสร้างเปรียบเทียบรูปที่ 1-จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1-จ แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกับแบบอิเล็กตรอน

จากรูปที่ 1-จ แสดงโครงสร้างกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกับแบบอิเล็กตรอนที่จัดระบบเลนส์แบบลำแสงและลำอิเล็กตรอนส่องผ่าน จะเห็นว่ามีองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการมองเห็นภาพคล้ายคลึงกัน สามารถเทียบหน้าที่การทำงานของส่วนประกอบต่างๆ ได้ แต่ในเรื่องของกลไกการทำงานแล้ว กล้องจุลทรรศน์ทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกันอย่างมาก เนื่องจากแหล่งกำเนิดของสื่อกลางในการเกิดภาพของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงใช้หลอดไฟฟ้า ซึ่งให้ลำแสงผ่านระบบเลนส์แก้วในคอลัมน์ที่มีอากาศได้ การปรับเปลี่ยนกำลังขยายและการปรับความคมชัดอาศัยระบบคนในการควบคุมทั้งหมด ส่วนในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนจะต้องทำงานในคอลัมน์สุญญากาศ โดยจะถูกบังคับด้วยสนามไฟฟ้าศักดาสูง เร่งให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงและมีพฤติกรรมคล้ายคลื่นแสง กำลังขยายของภาพในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเกิดจากการบังคับให้ลำอิเล็กตรอนผ่านสนามแม่เหล็ก ซึ่งทำหน้าที่คล้ายเลนส์ การปรับเปลี่ยนกำลังขยายและความคมชัดของระบบอิเล็กตรอน เป็นการปรับปริมาณกระแสไฟฟ้าในขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก การใส่ชิ้นตัวอย่างเพื่อศึกษาจะต้องใส่ในห้องสุญญากาศ รวมทั้งระบบการมองเห็นภาพต้องอาศัยตัวกลางในการเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดจากอันตรกิริยาในโครงสร้างไมโครของชิ้นตัวอย่างให้ปรากฏเป็นภาพที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ด้วยเหตุนี้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจึงประกอบด้วยส่วนต่างๆ มากมาย เช่น ระบบสุญญากาศ ระบบกำเนิดไฟฟ้าศักดาสูง ระบบควบคุมอิเล็กโทโรนิกส์ ระบบเลนส์อิเล็กตรอน เป็นต้น จึงทำให้มีขนาดใหญ่กว่ากล้องจุลทรรศน์แบบแสง และมีการใช้งานยุ่งยากซับซ้อนกว่า

แต่นักวิทยาศาสตร์สาขาชีวภาพและกายภาพก็มีความจำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพราะมีขีดความสามารถเหนือกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบแสงหลายเท่าดังแสดงเปรียบเทียบในตารางที่ 1-จ นอกจากนี้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนยังได้รับการพัฒนาให้มีอุปกรณ์ประกอบเพื่อช่วยใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ธาตุพร้อม ๆ กับการศึกษาไมโครกราฟ ในขณะที่กล้องจุลทรรศน์แบบลำแสงทำไม่ได้

ตารางที่ 1-จ เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกับแบบอิเล็กตรอน

	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (EM)	กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM)
แหล่งกำเนิดแสง	ลำอิเล็กตรอน	ลำแสงสว่าง
ความยาวคลื่น	0.0859 \AA (20 kV) - 0.0251 \AA (20 kV)	$7,500 \text{ \AA}$ (Visible) - $2,000 \text{ \AA}$ (Ultraviolet)
ตัวกลาง	สุญญากาศ	บรรยากาศปกติ
เลนส์	เลนส์อิเล็กตรอน	เลนส์แก้ว
มุมอพอเจอร์	$\sim 35^\circ$	$\sim 70^\circ$
ความสามารถในการ แจกแจง	point to point: 3.5 \AA Lattice: 1.4 \AA	Visible: $2,000 \text{ \AA}$ Ultraviolet: $1,000 \text{ \AA}$
กำลังขยาย	100X ~ 450,000X ปรับได้ต่อเนื่อง	10X ~ 2,000X (เปลี่ยนเลนส์ที่ละชุด)
โพกัส	ปรับระบบไฟฟ้า	ปรับระบบกล
คอนทราสต์	การกระเจิง, การเลี้ยวเบนและเฟส ของคลื่นอิเล็กตรอน	การดูดกลืนแสงและการสะท้อนแสง

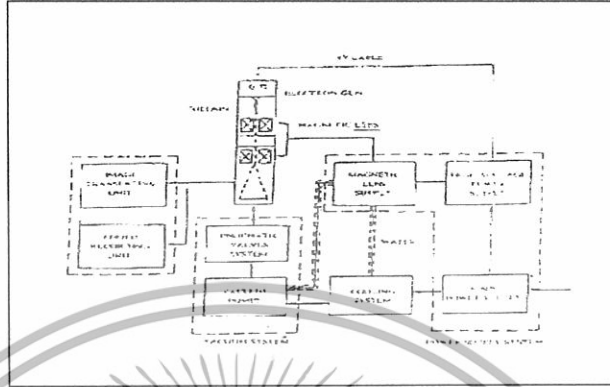
โครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ กล้องจุลทรรศน์ที่จัดระบบเลนส์แบบลำอิเล็กตรอนส่องผ่าน (TEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่จัดระบบเลนส์แบบลำอิเล็กตรอนสแกน (SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้ง 2 แบบจะมีโครงสร้างภายนอกคล้ายกัน ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วน คือ

1. ระบบอิเล็กตรอนออปติก (electron optics system)
2. ระบบสุญญากาศ (Vacuum system)
3. ระบบระบายความร้อน (cooling system)
4. ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า (power supply system)
5. ระบบสร้างภาพและบันทึกภาพ (image translating and photo recording)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

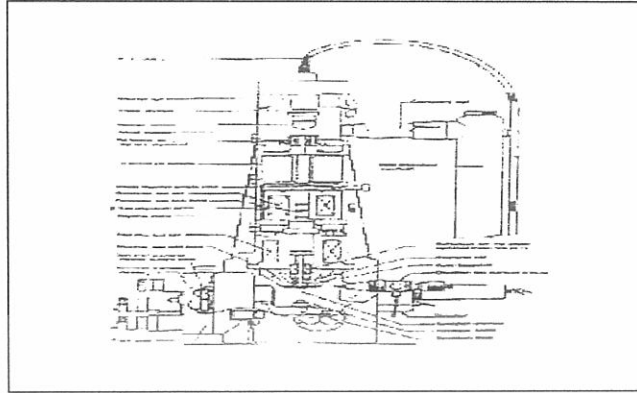
หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์



รูปที่ 2- จ แสดงแผนภาพเบื้องต้นของระบบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

รูปที่ 2- จ แสดงแผนภาพเบื้องต้นของระบบต่างๆ ภายนอกกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ซึ่งทำงานเชื่อมโยงกันตามลำดับขั้นที่ถูกออกแบบไว้ กล่าวคือ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะทำงานได้นั้น ระบบสุญญากาศจะต้องสร้างสภาพสุญญากาศภายในคอลัมน์นึ่งบรรจุระบบอิเล็กตรอนออกพติกก่อน จากนั้นระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก 2 ส่วน คือ แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงจะทำหน้าที่สร้างสนามเร่งให้กับระบบอิเล็กตรอนออกพติก เพื่อสร้างลำอิเล็กตรอนความเร็วสูง และแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กตรอนเพื่อสร้างกำลังขยายภาพขึ้นในระบบอิเล็กตรอนออกพติกทั้งระบบสุญญากาศและแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอิเล็กตรอนจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เกิดความร้อนสูง ได้แก่ เครื่องสูบลำอากาศแบบดิวเทอเรียมทรานซิสเตอร์กำลังสำหรับขับกระแสในขดลวดแม่เหล็ก เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น เพื่อรักษาอุณหภูมิของการทำงานให้อยู่ที่อุณหภูมิห้อง ขึ้นตัวอย่างที่ต้องการจะศึกษา โครงสร้างจะต้องใส่ในห้องสุญญากาศภายในคอลัมน์ที่จัดไว้ตามสภาพโครงสร้างของระบบเลนส์ ภาพสัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในระบบอิเล็กตรอนออกพติกต้องอาศัยระบบการสร้างภาพเพื่อให้สามารถมองเห็นภาพขยายนั้นด้วยตาเปล่า และสามารถบันทึกลงบนแผ่นฟิล์มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-จ ภาพตัดขวางของคอลัมน์กล้องจุลทรรศน์แบบ SEM รุ่น 32CF ของบริษัท JEOL

แม้ว่าโครงสร้างภายนอกของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำอิเล็กตรอนส่งผ่านและแบบอิเล็กตรอนแบบสแกนจะเหมือนกันก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาจากการจัดระบบเลนส์อิเล็กตรอนแล้ว โครงสร้างอิเล็กตรอนออฟติคภายในคอลัมน์สูญญากาศจะแตกต่างกันมากทีเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3-จ ของ TEM และรูปที่ 4-จ ของ SEM กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ TEM นั้นชิ้นส่วนตัวอย่างจะอยู่ใต้เลนส์คอนเดนเซอร์ กำลังขยายของภาพจะเกิดโดยระบบเลนส์ออฟเฟกตีฟเลนส์อินเตอร์มีเดียรี และฉายภาพขยายลงบนฉากเรืองแสงด้วยเลนส์โปรเจกเตอร์ การบันทึกภาพสามารถบันทึกโดยตรงบนแผ่นฟิล์มซึ่งบรรจุไว้แผ่นเรืองแสง ในขณะที่กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ SEM นั้น ชิ้นส่วนตัวอย่างจะอยู่ใต้เลนส์ออฟเฟกตีฟ และถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ตามบริเวณที่ต้องการศึกษา โครงสร้างด้วยระบบสแกน และสร้างสัญญาณภาพขยายอิเล็กตรอนบนจอภาพ การบันทึกภาพจะบันทึกจากจอภาพแคโทดเรย์

เอกซเรย์ สเปกโทรสโกปี (X-ray Spectroscopy) และเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี (X-ray Fluorescence Spectroscopy)

เมื่อปี ค.ศ. 1895 W.C. Rontgen ได้ค้นพบรังสีเอกซ์ (X-rays) ซึ่งเป็นสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงหนึ่ง มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.1 – 100 อังสตรอม หรือ 0.01 – 10 นาโนเมตร แต่ที่ใช้ในทางเคมีวิเคราะห์จะอยู่ในช่วง 0.07 – 0.2 นาโนเมตร รังสีเอกซ์จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์หลาย ๆ อย่าง ดังที่มีผู้ได้รับรางวัลโนเบลไปแล้วหลายท่าน ซึ่งล้วนแต่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติและการเกิดอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับสสารทั้งสิ้น การเกิดอันตรกิริยา ของรังสีเอกซ์กับสสารก่อให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ เช่น เกิดการเปล่งแสงบางชนิด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Emission) การดูดกลืน (Absorption) การกระเจิง (Scattering) หรือเกิดการเลี้ยวเบน (Diffraction) เป็นต้น ปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นลักษณะเฉพาะ (Characteristic) ของแต่ละสารที่เราสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้ดังนี้ คือ

1. ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในสาร (Elemental Analysis) ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และปริมาณ (Quantitative)
2. ใช้ศึกษาหาโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Structure) ซึ่งสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดพันธะเคมี (Chemical Bonding)
3. ใช้ศึกษาเกี่ยวกับ โครงสร้างผลึก (Crystal Structure) หรือ โมเลกุลของสารด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction)

สำหรับเทคนิค X-ray Spectroscopy (XRS) หรือ X-ray Fluorescence Spectroscopy (XRFS) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีเป็นแบบที่ไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (Non – Destructive Analysis) สามารถทำได้ทั้งวิเคราะห์ธาตุเดี่ยว ๆ ทีละธาตุ (Sequential) หรือวิเคราะห์หลายธาตุพร้อมกัน (Simultaneous) โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่มีความทันสมัยสูง ช่วยให้เทคนิคนี้นิยมทั้งในด้านอุตสาหกรรมและการวิจัย เพราะสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ทางเคมีได้แทบทุกชนิดของสารตัวอย่าง ในระดับความเข้มข้นสูงถึงความเข้มข้นต่ำ บางครั้งสามารถวิเคราะห์ได้ถึงระดับ Trace Analysis (ppm) ซึ่งวิเคราะห์ได้ง่ายและรวดเร็ว

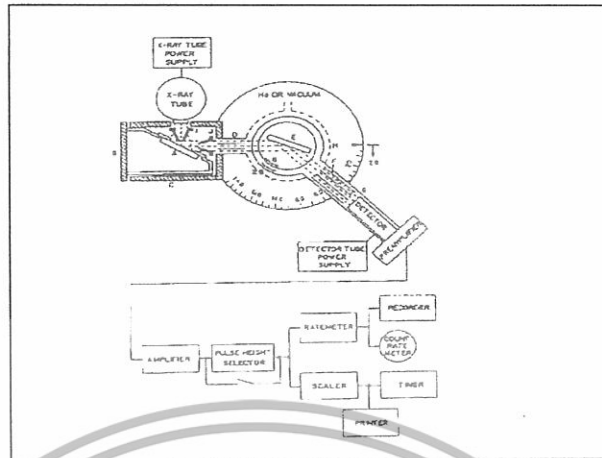
การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRFS นี้มีอยู่ 2 ระบบ ด้วยกัน คือ

- ก. ระบบที่วัดเป็นความยาวคลื่น (Wavelength Dispersion System)
- ข. ระบบที่วัดเป็นพลังงาน (KeV) (Energy Dispersion System)

X-ray Fluorescence Spectroscopy (XRFS)

ลักษณะและองค์ประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง XRFS ชนิด Wavelength Dispersion System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-จ ลักษณะและองค์ประกอบของเครื่อง XRFS

เครื่อง XRFS นั้นโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญ 3 ส่วน ดังแสดงในรูป

1. X-Ray Generator ซึ่งประกอบด้วย

- X-Ray tube
- X-Ray power controller
- High voltage transformer
- X-Ray tube cooling unit
- Filter

2. Spectrometer ประกอบด้วย

- Sample compartment
- Collimator
- Analyzing crystals
- Goniometer
- Detectors

3. Data system

- Computer
- Printer
- Recorder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์สารด้วยเทคนิค XRF นั้นมีหลักการดังนี้

ลำรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-Ray generator (ซึ่งมีหลอดรังสีเอกซ์อยู่) จะถูกส่งไปยังสารตัวอย่างเพื่อให้เกิดอันตรกิริยากับค่าต่าง ๆ ในสารตัวอย่าง แล้วเกิด X-Ray fluorescent ขึ้น ให้ X-Ray fluorescent ผ่าน collimator เพื่อทำให้ลำรังสีเอกซ์เป็นลำขนานและไปในทางที่ต้องการ คือให้ไปตกกระทบกับ analysing crystals ซึ่งอยู่ใน spectrometer ที่ทำให้เป็นสุญญากาศหรือความกดดันต่ำมาก ๆ analysing crystals นี้จะทำหน้าที่กระจายแสงหรือแยกรังสีเอกซ์ออกไปให้มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน คล้ายกับเกรตติงทำหน้าที่แยกแสง รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน จะถูกวัดความเข้มหรือกำลังด้วยการ scan ของ detector สัญญาณที่วัดได้จะถูกส่งไปยังเครื่องเก็บข้อมูลแล้วถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัมด้วยเครื่อง printer หรือ recorder จากข้อมูลที่ได้ทั้งหมดของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณได้

เอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffraction)

วิธี X-ray diffraction เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับทดสอบวัตถุที่เป็นผลึกหรือโพลีเมอร์ ส่วนของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับการกระเจิงของ โครงสร้างผลึก การกระเจิงของรังสีจะสามารถสังเกตได้โดยตรงโดยลำแสงที่สะท้อนจากผลึกในแนวราบ X-ray diffraction (XRD) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง (non-destructive Method) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่าง ๆ กัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐานเพื่อระบุวัตถุภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

หลักการและวิธีการวิเคราะห์

วัสดุที่เป็นผลึกคือวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกจะมีลักษณะเป็นระนาบเส้นตรงขนานกัน ซึ่งแต่ละระนาบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ d ซึ่งค่า d จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นกับธรรมชาติของผลึก ในปี ค.ศ. 1912 W.H.Bragg และ W.L.Bragg ได้เสนอแนวคิดว่า เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบระนาบของอะตอมในผลึกที่มุมตกกระทบ θ รังสีเอกซ์บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (เลี้ยวเบน) ที่มุมสะท้อน θ เท่ากับมุมตกกระทบ ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่าง ๆ ถูกเสนอในรูปสมการ $d \sin\theta = n\lambda$ ซึ่งสมการดังกล่าวนี้เรียกว่า “Bragg’s law”

ภายในเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะถูกสร้างขึ้นภายในหลอดปิด ซึ่งอยู่ภายในสุญญากาศ

โดยให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้นลวดฟิลาเมนต์ซึ่งอยู่ภายในหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เส้นลวดร้อนขึ้นและก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากเส้นลวด ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูงทำให้เกิดการเคลื่อนที่จากเส้นลวดฟิลาเมนต์ที่เป็นขั้วแคโทดด้วยความเข้มสูงเข้าชนขั้วแอโนด ซึ่งโดยทั่วไปมักจะทำมาจากโลหะทองแดง อิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชนจะทำให้วงในสุด (K - shell) ของอะตอมทองแดงหลุดออกไป จึงเกิดเป็นช่องว่างขึ้น เป็นผลให้อิเล็กตรอนวงนอกที่อยู่ถัดมา (L และ M shell) เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานลงมาแทนที่ช่องว่างนั้น โดยการคายรังสีเอกซ์ออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ไปยังสารตัวอย่างและรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนออกจากสารตัวอย่างจะถูกตรวจจับด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีเอกซ์ (Detector)

เครื่องมือประกอบด้วย

1. X-ray generator ที่ประกอบด้วยหลอด X-ray และอุปกรณ์สำหรับควบคุมและการทำให้ความเข้มของลำแสงสม่ำเสมอ
2. X-ray tube มักเป็นหลอดที่ใช้ขั้ว cathode ที่มีเส้นลวดร้อนที่เป็นไส้หลอดไฟ ความต่างศักย์ไฟฟ้าของหลอดจะขึ้นอยู่กับขั้ว anode และมีค่าระหว่าง 30 ถึง 80 โวลต์
3. filter ลำแสงที่ปล่อยออกมาประกอบด้วยอนุกรมลำดับต่อเนื่องและลักษณะเฉพาะของความยาวคลื่น ซึ่งส่วนหลังจะขึ้นอยู่กับธาตุเป้าหมายของ Anode สำหรับวิธีการเลี้ยวเบนการวัด monochromatic X-ray เป็นสิ่งที่สำคัญมาก ซึ่งทำได้โดย
 - การใช้ absorption edge filter
 - การใช้ crystal monochromator แทนก่อนหรือหลังตัวอย่าง
 - การแบ่งแยกพลังงาน

detector สำหรับ detector ของลำแสงสะท้อนของวัตถุที่เป็นผลึกสามารถแบ่งได้ 2 อย่าง

คือ

1. ลำแสงสะท้อนถูกวัดที่เวลาเดียวกัน ในระยะที่ไวต่อการเกิดภาพถ่ายบนฟิล์ม ด้วยวัตถุประสงค์นี้จะใช้ chamber ที่ต่างกัน
2. การสะท้อนที่ต่างกัน ถูกวัดอย่างต่อเนื่อง เพียงกำหนดมุมกระจายที่เหมาะสมแก่ detector และ detector นี้มักใช้ใน powder diffractometers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

SOLUBILITY PRODUCTS (K_{sp}) at 25 °C

Carbonates	Hydroxide
MgCO ₃ 1.15 x 10 ⁻⁵	Ba(OH) ₂ 5.0 x 10 ⁻³
NiCO ₃ 1.45 x 10 ⁻⁷	Sr(OH) ₂ 3.2 x 10 ⁻⁴
CaCO ₃ 4.95 x 10 ⁻⁹	Ca(OH) ₂ 7.88 x 10 ⁻⁶
BaCO ₃ 2.60 x 10 ⁻⁹	Ag(OH) ₂ 2.0 x 10 ⁻⁸
SrCO ₃ 5.60 x 10 ⁻¹⁰	Mg(OH) ₂ 5.66 x 10 ⁻¹²
CuCO ₃ 2.5 x 10 ⁻¹⁰	Mn(OH) ₂ 2.04 x 10 ⁻¹³
ZnCO ₃ 2 x 10 ⁻¹⁰	Pb(OH) ₂ 1.2 x 10 ⁻¹⁵
FeCO ₃ 3.13 x 10 ⁻¹¹	Co(OH) ₂ 1.09 x 10 ⁻¹⁵
MnCO ₃ 2.23 x 10 ⁻¹¹	Ni(OH) ₂ 5.54 x 10 ⁻¹⁶
Ag ₂ CO ₃ 8.58 x 10 ⁻¹²	Zn(OH) ₂ 7.68 x 10 ⁻¹⁷
CdCO ₃ 6.20 x 10 ⁻¹²	Fe(OH) ₂ 4.79 x 10 ⁻¹⁷
PbCO ₃ 1.48 x 10 ⁻¹³	Cu(OH) ₂ 1.6 x 10 ⁻¹⁹
Hg ₂ CO ₃ 9.0 x 10 ⁻¹⁵	Sn(OH) ₂ 3 x 10 ⁻²⁷
	Cr(OH) ₂ 6.7 x 10 ⁻³¹
	Al(OH) ₂ 2 x 10 ⁻³²
	Fe(OH) ₂ 2.67 x 10 ⁻³⁹

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์

- ประสิทธิภาพการกำจัดหาได้จากสูตร

$$= \frac{(\text{ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นของทองแดงที่เหลือ})}{(\text{ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น})} \times 100$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- เกษม .2544. การศึกษาประสิทธิภาพของโคโตซานซึ่งสกัดมาจากเปลือกกุ้ง กระจดองปู และกุ้ง ผสมปูในการกำจัดไอออน Pb^{2+} และ Hg^{2+} ในน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากห้องปฏิบัติการ . กรุงเทพฯ : โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กฤษณ์ เรืองธรรม.2544. การศึกษาโคโตซานนาโนคอมโพสิตชนิดใหม่. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีโพลีเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชุตินา สันถักกิจ และคณะ.2544. การดูดซับทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลายจากกาก ตะกอนโดยใช้โคโตซาน. กรุงเทพฯ : โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชีวีรัตน์ ศิลปรัตน์ และคณะ. 2544. การดูดซับตะกั่วโดยการพัฒนาตัวกลางดูดซับที่ได้จากเปลือก หอยแครง. กรุงเทพฯ : โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เดวียน บัวคุ้ม. 2541, ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโลหะของโคตินและโคโตซาน. สงขลา : วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นริศรา นพาวรรณ และคณะ. 2545. การศึกษาการดูดซับแคดเมียมโดยใช้กระจดองหมึก. กรุงเทพฯ : โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สมนึก นุสรรัมย์ และคณะ. 2545. การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันในน้ำทิ้งโดยใช้ เปลือกปูและโคติน. กรุงเทพฯ : โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุทธิทิรา บัวนาค. 2547. การกำจัดโครเมียม(เฮกซะเวเลนซ์) นิกเกิล และตะกั่วในน้ำเสีย อุตสาหกรรมโดยใช้เกล็ดโคโตซานจากเปลือกกุ้ง. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม(สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เยาวภา ไหวพริบ. 2545. สหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติการใช้งานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคลโทซานที่ผลิตได้จากเปลือกกุ้ง. ชลบุรี : รายงานฉบับสมบูรณ์ ทุนอุดหนุนการวิจัย
งบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2545 มหาวิทยาลัยบูรพา.

Dean, J. G., Bosqui , F. L. and Lanouette , K.H. 1972. **Removing Heavy Metals from
wastewater.** Environ. Sci.technol. 6 pp. 518-52

Faust , S.D. and Aly , OM. 1987. **Adsorption Process for Water Treatment** , Stoneham,
Butterworth.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้