

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การดูดซับตะกั่วโดยการพัฒนาตัวกลางดูดซับที่ได้จากเปลือกหอยแครง
(Adsorption of Lead by Developed from Cockle Shell)



รฟ.
ฉ579ก
2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....43902
วัน, เดือน, ปี 17 ต.ค. 2545

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

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

61100179

Adsorption of Lead by Developed Adsorbent from Cockle Shell



**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 Latkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การดูดซับตะกั่วโดยการพัฒนาคิวกลางดูดซับที่ได้จาก
เปลือก หอยแครง

นักศึกษา นางสาว ชีวรัตน์ ศิลปรัตน์
นาย ปริญญา รุ่งโรจน์กิจไพศาล
นางสาว ปวีณา จรัสโชติพิณิต

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.กมลีนุตุนธ์ สุวรรณรัตน์

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยตัวดูดซับที่เตรียมจากเปลือกหอยแครงซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น โดยทำการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องเพื่อประเมินความสามารถในการดูดซับตะกั่ว ซึ่งตัวดูดซับที่นำมาทำการทดสอบนั้นมีความแตกต่างกันของขนาดและสารที่ใช้กระตุ้น โดยใช้เปลือกหอยแครงที่มีขนาด 8-16 และ 16 - 100 เมช กระตุ้นด้วย น้ำส้มสายชู และ กรดเกลือ พบว่าเปลือกหอยแครงขนาด 16 -100 เมช ที่กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชูมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุด ค่าคงที่ที่คำนวณจากสมการการดูดซับ แบบ Freundlich มีค่าเท่ากับ 115.82 มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมเปลือกหอยแครง และในการทดสอบแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ของตัวดูดซับโดยใช้น้ำทิ้งที่มีตะกั่วปนเปื้อนจากห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลของการบำบัดน้ำทิ้งที่มีตะกั่วปนเปื้อนได้ 522 เท่า ของปริมาตรบรรจุของคอลัมน์ โดยน้ำที่บำบัดแล้วจะมีความเข้มข้นของตะกั่วไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Adsorption of Lead by Developed Adsorbents from Cockle Shell
Author	Miss Chewarat Silaparat Mr. Parinya Rungrojkitpaisal Miss Paweena Charaschotepinit
Advisor	Miss Glinsukol Suwannarat
Department	Chemistry
Academic Year	2001

Abstract

The purpose of this research is to study the capability of lead adsorption of adsorbents prepared from cockle shell which are residual materials available locally. Batch adsorption tests were used for the evaluation of the adsorption efficiency. Adsorbent was studied which differs in size and activating chemicals used. Bying shell zine 8-16 , 16-100 mesh which were actived by venegar and 5 % Hydrochloric acid. Among the adsorbent tested , the Cookle shell which was crushed and sized to 16 - 100 mesh and activated with acetic acid was found to be the best for lead adsorption. The adsorption constant from Freundlich adsorption isoterm was found to be 115.82 milligram lead per gram cookle shell . Continuous adsorption column test had using Lead- contaminated wastewater collected from chemical Laboratory at Faculty of Science , King Mongkut's Institute Technology Ladkrabang. Lead concentration of wastewater was 15 mg/l . The results showed that the column could treat the lead - contaminated wastewater 522 bed volumes. The lead concentration in the effluent was not over 0.2 mg/l which was the standard for industrial wastewater of Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดีในครั้งนี้ สืบเนื่องมาจากความร่วมมือและความกรุณาของทุกๆท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ที่กรุณาติดตาม ตรวจสอบ ดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิดและให้คำปรึกษาได้ตลอดเวลา ดิฉันจนผลงานสำเร็จลงได้ในที่สุด

ผศ.คณิตา ตั้งคณานุรักษ์ และ อ.พรทิพย์ ศัพท์อนันต์ และ ที่ได้ให้คำแนะนำในเรื่องการทำรายงาน รวมถึงท่านอาจารย์ภาคเคมีทุกๆท่านที่ยังไม่กล่าวมา อีกทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และ เจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมีทุกๆท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านอย่างเต็มที่

อีกทั้งร้านอาหารทะเลเผา ตลาดอุบลศรี ซอยสุขุมวิท 103 ที่ให้ความเอื้อเฟื้อเก็บเปลือกหอยแครง ภาควิชาศิลปอุตสาหกรรม คณะสถาปัตยกรรม ที่ให้ใช้เครื่องในการบด และ ภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ใช้เครื่องร่อนในการแยกขนาดสำหรับโครงการพิเศษครั้งนี้

ขอบคุณเพื่อนๆภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์โดยเฉพาะ ปิติ เลิศมั่งมี ที่เอื้อเฟื้อคอมพิวเตอร์และปริ้นเตอร์ รวมทั้งให้ความช่วยเหลือต่างๆ ในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้โดยตลอด

ขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติ พี่น้อง เพื่อนต่างสถาบัน และเพื่อนๆทั้งในภาควิชาเคมี รวมถึงรุ่นพี่ รุ่นน้อง ภาคเคมีทุกคนที่ได้ให้กำลังใจกับพวกเรา ให้พวกเราไม่ท้อใจในการต่อสู้ ฝ่าฟันอุปสรรคเหลือคณานับประการจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้ในที่สุด

คณะผู้จัดทำสำนึกในพระคุณของทุกท่านและถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณทุกๆท่านที่ให้ความกรุณา ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา คำแนะนำที่ดี และอดทนกับโครงการพิเศษมาโดยตลอดมาขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้ด้วยครับ/ค่ะ

ขอกราบขอบพระคุณ

น.ส.ชิวรัตน์ ศิลปรัตน์

นายปริญญา รุ่งโรจน์กิจไพศาล

น.ส.ปวีณา จรัสโชติพินิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
คำสำคัญ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงานโครงการพิเศษ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย	4
2.2 กระบวนการดูดซับ	6
- ประเภทของตัวดูดซับ	6
- รูปแบบการดูดซับ	7
- ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ	7
- การศึกษาความสามารถในการดูดซับ	9
2.3 การศึกษาอายุการใช้งานของตัวดูดซับและการศึกษาค่าคงที่	12
2.4 โลหะหนัก	13
2.5 เปลือกหอย	20
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	25
3.2 วิธีการทดลอง	
- การเตรียมโลหะหนัก	26
- การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกหอยแครง	27
- การศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วแบบไม่ต่อเนื่อง	28
- การศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วแบบต่อเนื่อง	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการศึกษาลักษณะของเปลือกหอยแครง	31
4.2 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วแบบไม่ต่อเนื่อง	36
4.3 การศึกษาการลดปริมาณตะกั่วในน้ำทิ้งปนเปื้อนโลหะหนัก จากห้องปฏิบัติการเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	45
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธีไอโซโทป	54
ภาคผนวก ข. หลักการของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน	56
ภาคผนวก ค. มาตรฐานน้ำทิ้ง	62
ภาคผนวก ง. การคำนวณปริมาตรของตัวดูดซับในคอลัมน์	66
ภาคผนวก จ. ตัวอย่างการคำนวณความสามารถในการดูดซับแบบต่อเนื่อง	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงปริมาณผลผลิตทั่วโลกของสารประเภทไคติน	21
ตารางที่ 4.1	องค์ประกอบของเปลือกหอยแครงเมื่อวิเคราะห์ด้วย เครื่อง X-Ray Diffraction	32
ตารางที่ 4.2	เปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วโดยใช้เปลือกหอยแครง	36
ตารางที่ 4.3	แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มของเปลือกหอยแครง ขนาด 8 -16 เมช และ 16 - 100 เมช	39
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าคงที่ $1/n$ และ K จากการคำนวณด้วยสมการคูชซ์ แบบ Freudich	43
ตารางที่ 4.5	อธิบายค่าความหมายของค่า K และ $1/n$	44
ตารางที่ 4.6	แสดงค่าความเข้มข้นตะกั่วที่เหลือในน้ำหลังผ่านคอลัมน์ บรรจุเปลือกหอยแครงขนาด 16-100 เมช ที่กระตุ้นด้วย น้ำส้มสายชู	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir	10
รูปที่ 2.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich	11
รูปที่ 2.3 แสดง Breakthrough Curve ของการทดสอบแบบคอลัมน์	12
รูปที่ 2.4 โคออร์ดิเนต Eh – pH ของตะกั่ว	18
รูปที่ 2.5 โคออร์ดิเนตสปีชีส์ต่างๆในน้ำ	19
รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างโคคิน โคลโดแซน และเซตลูโลส	22
รูปที่ 4.1 ลักษณะของเปลือกหอยแครงที่ผ่านการบดแล้ว	32
รูปที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีในเปลือกหอยแครงเทียบ กับกราฟมาตรฐาน Aragonite (CaCO_3) ด้วย X-Ray Diffraction	33
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟมาตรฐานของ Aragonite (CaCO_3) ด้วย X-Ray Diffraction	34
รูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีในเปลือกหอยแครง ด้วย X-Ray Diffraction	35
รูปที่ 4.5 กราฟแสดง เปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วด้วยเปลือกหอยแครง ขนาด 8 – 16 เมช	37
รูปที่ 4.6 กราฟแสดง เปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วด้วยเปลือกหอยแครง ขนาด 16-100 เมช	38
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ ความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือของเปลือกหอยแครงขนาด 8 –16 เมช	41
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ ความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือของเปลือกหอยแครงขนาด 16 -100 เมช	42
รูปที่ 4.9 แสดงรูปคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่อง	45
รูปที่ 4.10 แสดง Breakthrough Curve ของตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 15 mg/l	47
รูปที่ 4.11 แสดง Breakthrough Curve ของตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 15 mg/l	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ

คำศัพท์	คำอธิบาย
Adsorption Isotherm	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน ความเข้มข้นของปริมาณน้ำทิ้งที่ผ่านชั้น ตัวดูดซับแล้วกับความเข้มข้นเริ่มต้น เทียบกับปริมาตรที่ใช้
Bed Volume (BV)	ปริมาตรของตัวดูดซับในคอลัมน์
Biosorbent	ตัวดูดซับทางชีวภาพ
Breakthrough Curve	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้น ของปริมาณน้ำทิ้งที่ผ่านชั้นตัวดูดซับแล้ว ต่อความเข้มข้นเริ่มต้นเทียบกับปริมาตรที่ใช้
C/Co	อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของโลหะ หนักที่เหลืออยู่ในน้ำกับความเข้มข้นเริ่มต้น ของโลหะหนักในน้ำ
cm	หน่วยเซนติเมตร
cm³	หน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร
g	หน่วยน้ำหนักเป็นกรัม
L	หน่วยปริมาตรเป็นลิตร
mg	หน่วยน้ำหนักเป็นมิลลิกรัม เท่ากับ 10 ⁻³ กรัม
mg/l	หน่วยน้ำหนักเป็นมิลลิกรัม ต่อ ปริมาตร ในลิตร
X/M	อัตราส่วนระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับปริมาณ ของตัวดูดซับ (มิลลิกรัม ต่อ กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันได้นำเอาเทคโนโลยีต่างๆมาช่วยในการพัฒนาประเทศ เพื่อให้เกิดความเจริญก้าวหน้าในทุกๆด้าน การที่ประเทศได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วนี้ทำให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมขึ้นอย่างมากมาย น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการก็เป็นส่วนหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมเช่นกัน เนื่องจากห้องปฏิบัติการไม่มีระบบการแยกสารพิษที่ดีพอ ซึ่งในปี 2538 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้เริ่มทำการแยกประเภทการจัดเก็บน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ

1. Aqueous Heavy Metal Solutions
2. Solid Waste
3. Non – Halogenated Organic Solvents
4. Halogenated Organic Solvents
5. Old Oil

สารแต่ละประเภทจะเก็บอยู่ในถังพลาสติกขนาด 25 ลิตร เมื่อเต็มถังแล้วจะถูกส่งไปทำการบำบัด (ประไฟรตน์ และ สมดุลย์ ,2538) ในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้สนใจที่จะบำบัด Aqueous Heavy Metal Solutions

วิธีการบำบัดโลหะหนักมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การตกตะกอนทางเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน Reverse Osmosis หรือ Electrodialysis เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีการมีประสิทธิภาพและข้อจำกัดในการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน และบางวิธีการต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงในการบำบัด ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาวิธีการใหม่ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงและมีค่าใช้จ่ายต่ำ ซึ่งการบำบัดโลหะหนักด้วยวิธีการดูดซับก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะมีค่าใช้จ่ายน้อย ดูแลรักษาง่าย และให้ผลการบำบัดที่ดี ในโครงการพิเศษนี้จึงเลือกใช้การดูดซับมาบำบัดโลหะหนัก โดยใช้ตัวกลางในการดูดซับที่พัฒนาได้จากเปลือกหอยแครง เนื่องจากเปลือกหอยแครงเป็นวัสดุเหลือใช้ที่สามารถหาได้ง่ายในบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท้องถิ่น มีราคาถูก และมีความปลอดภัยในการนำมาใช้เป็นตัวกลางในการดูดซับ การนำเปลือกหอยมาเป็นตัวกลางในการดูดซับจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำเอาวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นมาทำการบำบัดโลหะหนัก และถ้าหากมีการพัฒนาต่อไปอาจจะนำมาใช้ในระบบบำบัดจริงได้

โลหะหนักที่ทำการศึกษาในโครงการพิเศษนี้คือ ตะกั่ว ซึ่งเป็นโลหะหนักที่มีมากในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีชั้น 4 คึกสมเด็จพรเทพฯ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติมาดูดซับโลหะหนัก
2. เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนักคือ ตะกั่ว ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ตัวกลางในการดูดซับที่พัฒนาได้จากเปลือกหอยแครง
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักคือ ตะกั่ว ในน้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี โดยใช้ตัวกลางในการดูดซับที่พัฒนาได้จากเปลือกหอยแครง

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยตัวกลางในการดูดซับที่พัฒนาได้จากเปลือกหอยแครง
2. ทำการดูดซับตะกั่วในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี ด้วยตัวกลางในการดูดซับที่พัฒนาได้จากเปลือกหอยแครง โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาในน้ำเสียสังเคราะห์

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงานโครงการพิเศษ

1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล
2. ออกแบบการทดลอง และจัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี
3. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
4. ทำการเตรียมวัสดุดูดซับ
5. ศึกษาความสามารถในการดูดซับตะกั่ว ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการทดสอบแบบ ไม่ต่อเนื่อง (Batch Test) และการทดสอบแบบต่อเนื่อง (Column Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ศึกษาความสามารถในการดูดซับตะกั่ว ในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดสอบ แบบต่อเนื่อง (Column Test)

7. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่ว และนำสภาวะที่เหมาะสมไปประยุกต์ ใช้กับน้ำเสียที่มีโลหะหนักจากแหล่งอื่นได้
2. ทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาตัวกลางในการดูดซับและนำตัวดูดซับที่เหมาะสมไปใช้บำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก
3. เป็นการลดปริมาณของเสียที่จะออกสู่สิ่งแวดล้อมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย (ชุติมา,2543)

กระบวนการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย มีหลายวิธี การพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติน้ำเสียก่อนบำบัด คุณภาพน้ำที่ต้องการหลังการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้

1) การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation)

เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน กระบวนการนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพของต่างๆที่ละลายอยู่ในรูปสารละลายให้เป็นสารที่อยู่ในรูปไม่ละลาย โดยวิธีเคมีสารเคมีให้ผสมกับน้ำเสียให้ทั่วถึง ซึ่งการตกตะกอนด้วยวิธีทางเคมีมีหลายวิธีด้วยกัน แต่นิยมใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักมี 2 วิธีด้วยกัน คือ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ และการตกตะกอนซัลไฟด์

2) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange)

กระบวนการนี้อาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือถูกดูดซับด้วยเรซินไม่เท่ากัน ในการแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยสารที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนซึ่งมาจากธรรมชาติ และสังเคราะห์ขึ้น จะมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่ และถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงข้ามซึ่งอยู่ในสารละลาย เหมาะสำหรับการกำจัดโลหะที่มีปริมาณน้อยและประสิทธิภาพสูง

3) การออสโมซิสย้อนกลับ (reverse osmosis)

เป็นการแยกโลหะออกจากน้ำเสีย โดยใช้หลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนซึ่งจะใช้เฉพาะตัวทำละลายผ่าน เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้นขึ้น จะต้องใช้ความดันสูงโดยอาจสูงกว่า 100 บรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การระเหย (evaporation)

เป็นวิธีการง่ายๆ ทำโดย ระเหยน้ำออกทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น มีทั้งการระเหยที่ความดันบรรยากาศและการระเหยภายใต้สุญญากาศ ได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูงๆเท่านั้น เป็นวิธีการที่ใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง

5) อิเล็กโตรไดอะไลซิส (electrodialysis)

วิธีการนี้จะเป็นการแยกไอออนออกจากสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า ตรง ร่วมกับการใช้เมมเบรนที่เลือกเฉพาะสำหรับ ไอออนแต่ละชนิด (ion selective membrane) กลไกของวิธีการนี้เป็นการแลกเปลี่ยน ไอออนร่วมกับการ สกัดด้วยตัวทำละลายและน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีการนี้มีต้นทุนการก่อสร้างและการดำเนินการสูง แต่มีข้อดีคือสามารถกำหนดขนาดของ ไอออนที่ต้องการได้

6) การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (electrolytic recovery)

วิธีการนี้จะเป็นกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทด และเกิดแก๊สออกซิเจนที่ขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แต่ไม่นิยมเนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

7) การดูดซับ (adsorption)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการในการกำจัดสารที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุล โดยสารที่ใช้ในการดูดซับมักจะเป็นถ่านกัมมันต์ (activated carbon) กระบวนการนี้สามารถนำมาใช้กำจัดโลหะหนักได้ จนเหลือถึงระดับที่ยอมรับให้มีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กระบวนการดูดซับ (Adsorption) (Suzuki,1990)

เป็นวิธีการหนึ่งที่มีนิยมนำมาใช้กันมากในด้านการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถกำจัดสารปนเปื้อนขนาดเล็กจนถึงขั้น โมเลกุล ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้โดยวิธีการตกตะกอนหรือกรองแบบธรรมดา โดยอาศัยความสามารถเฉพาะตัวของสาร ในการดึง โมเลกุลของสารปนเปื้อนให้มาเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เรียกปรากฏการณ์ที่สารปนเปื้อนมาเกาะที่ผิวว่า กระบวนการดูดซับ(Adsorption) ตัวที่ดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วน โมเลกุลที่มาเกาะติดที่ผิวตัวดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ปรากฏการณ์ดูดซับนี้เกิดขึ้นระหว่าง 2 พื้นผิว (Surface) โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งได้แก่ พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับก๊าซ พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือ โลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน จากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับนี้มี การนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดิน หรือดูดซับ โลหะหนักจาก Landfill เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

2.2.1 ประเภทของตัวดูดซับ (Adsorbent) แบ่งได้ 3 ประเภท

1) สารอินทรีย์ ได้แก่ ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ แอคทีเวเต็ดซิลิกา(Activated Silica) เป็นต้น สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 – 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่ตัวดูดซับประเภทสารอินทรีย์นี้สามารถจับ โมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้มีการใช้ประโยชน์จาก ตัวดูดซับประเภทสารอินทรีย์มีข้อจำกัดมาก

2) ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) อาจจัดเป็น สาร อินทรีย์สังเคราะห์แต่เป็นตัวดูดซับที่ดีกว่าสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้กันมากเนื่องจากเป็นถ่านที่ผ่านการกระตุ้นเพื่อให้มีความพรุนมากและมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดยทั่วไปมีพื้นที่ประมาณ 450 – 1,500 ตารางเมตรต่อกรัมและมีขนาดรูพรุนตั้งแต่ 10 – 10,000 อังสตรอม ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชิ้นส่วนของพืชและสัตว์ จะมีแร่ธาตุที่เป็นอันตรายน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถือว่ามีความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ แต่สามารถปรับสภาพนำมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่า คือ สามารถปรับสภาพใหม่ได้ง่ายและสารที่ใช้มีราคาถูก เช่น เกลือแกง

2.2.2 รูปแบบของการดูดซับ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) กระบวนการดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ยึดติดกับผิวตัวดูดซับ (Adsorbent) โดยแรงแวนเดอร์วาลส์ที่อ่อน (Weak Van Der Waal's force) เรียกกระบวนการดูดซับชนิดนี้ว่า การดูดซับ (Adsorption) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ (Reversible Process) ส่วนกระบวนการที่ตัวดูดซับหลุดออกจากผิวตัวดูดซับ เรียกว่า Desorption โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับ ในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น เรียกว่า Multilayer

2) กระบวนการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดติดอยู่กับผิวของตัวดูดซับ โดยพันธะเคมีที่แข็งแรง ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์และยากต่อการเกิด Desorption การดูดซับทางเคมีนี้ โมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับ ในลักษณะที่เป็นชั้นเดียว เรียกว่า Monolayer

2.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

1) สมบัติของตัวดูดซับ

ก. พื้นที่ผิวและ โครงสร้างของรูพรุน พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุน หากรูพรุนมีมากทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดได้ดีเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย หากรูพรุนมีมากแต่มีขนาดเล็กหรือรูพรุนมีขนาดใหญ่แต่ปากรูพรุนมีขนาดเล็ก ก็ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่ม

2) สมบัติของสารที่ดูดซับ

ก. ความสามารถในการละลาย สารที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูกดูดซับได้น้อย เนื่องจากก่อนที่เกิดกระบวนการดูดซับจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายก่อนที่จะเกิดการดูดซับ ซึ่งถ้าไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถเกิดการดูดซับได้

ข. น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล ถ้าน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ดูดซับเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น และโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นแบบกิ่ง(Branched Chain) จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นเส้นตรง (Straight Chain)

3) ค่าความเป็นกรดต่าง(pH)

การดูดซับขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น หาก pH ลดลงส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน(H_3O^+) ที่พื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับ ไอออนลบเกิดได้มากขึ้น

4) อุณหภูมิ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

5) เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสต้องเหมาะสมที่จะทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีที่สุด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ และสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติก่อนนำไปใช้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณของตัวถูกดูดซับ ต่อ ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ไปกับความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่ ณ จุดสมดุล เพื่อคัดเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์

1) Langmuir Isotherm

การดูดซับแบบ Langmuir เป็นพื้นฐานของการดูดซับแบบอื่นๆ ซึ่งมีการสมมติฐานว่าการดูดซับสูงสุดสัมพันธ์กับ โมเลกุลตัวถูกละลายที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ มีพลังงานของการดูดซับคงที่ ไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับในแนวระนาบบนพื้นผิวตัวดูดซับ

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

เมื่อ

Q = จำนวน โมเลกุลตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักที่ความเข้มข้น C

Q_m = จำนวน โมเลกุลของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักตัวดูดซับที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียว(monolayer) บนพื้นผิวตัวดูดซับ

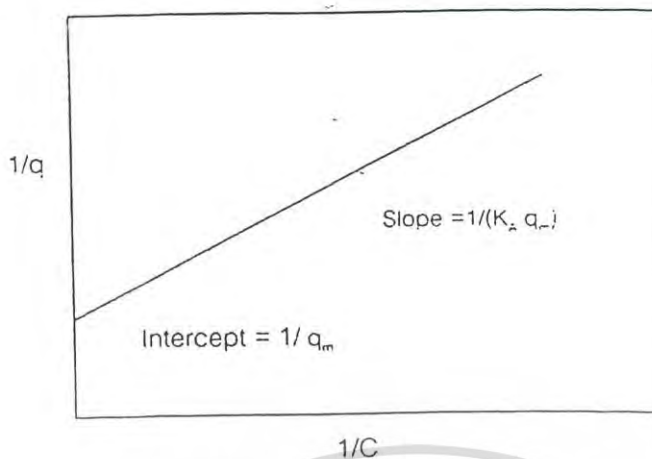
C = ความเข้มข้นที่จุดสมดุล (mg/l , M)

K = ค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับพลังงาน

จัดเป็นสมการเส้นตรงจะได้ดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir

ที่มา Suzuki (1990)

2) Freundlich Isotherm

การดูดซับแบบ Freundlich นี้เป็นการดูดซับที่ตัวถูกดูดซับเรียงซ้อนกันหลายชั้น ด้วยพันธะอ่อนๆ

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

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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ Freundlich เมื่อเขียนกราฟค่า X/M และ C จากการทดลอง ลงบนกราฟ Log-Log จะ ได้ดังสมการ

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

สามารถหาค่า K และ $1/n$ ได้โดยที่

$1/n$ = ความชันของกราฟ

K = ค่า X/M ที่ค่า $C=1$ รูปที่ 2.2

หาค่า K และ $1/n$ มีค่าค่า ความสามารถในการดูดซับจะต่ำในทุกค่าความเข้มข้น แต่ถ้า $1/n$ สูงแสดงว่า ความสามารถในการดูดซับนี้จะขึ้นกับความเข้มข้น เช่น หากความเข้มข้นต่ำ ความสามารถในการดูดซับจะลดลงอย่างรวดเร็ว และในทางตรงข้ามกันเมื่อความเข้มข้นสูง ความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นอย่างมาก

Log q

Slope = $1/n$

Intercept = $\log K_F$

Log C

รูปที่ 2.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich

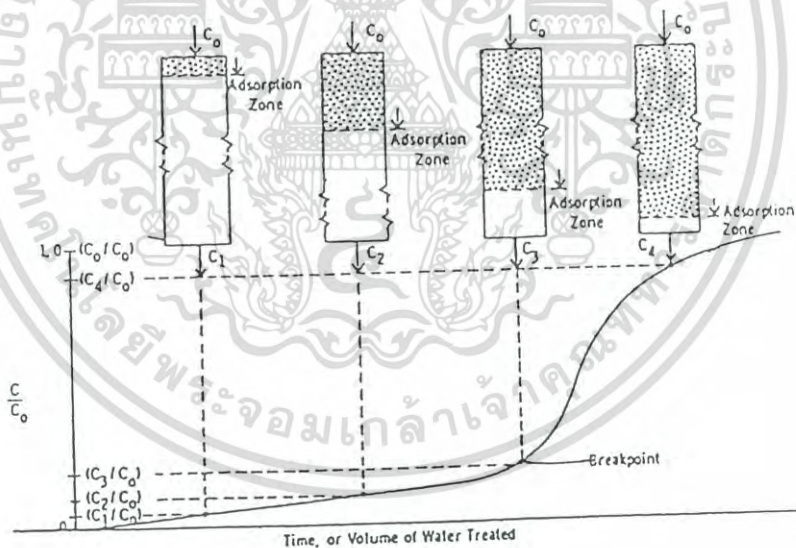
ที่มา Suzuki (1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาไอโซเทอร์มการดูดซับนั้น กระทำได้โดยการนำตัวดูดซับที่บดละเอียด ปริมาณที่แตกต่างกัน มาเข้ากับน้ำที่มีสารปนเปื้อน จนถึงจุดสมดุลของการดูดซับ จากนั้นแยกน้ำใสออกมาวิเคราะห์ปริมาณสารปนเปื้อนที่เหลือ ผลการทดสอบที่ได้นำไปใช้ คัดเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมในการใช้งานนั้นๆ

2.3 การศึกษาอายุการใช้งานของตัวดูดซับและการศึกษาค่าคงที่

การศึกษาในขั้นนี้กระทำโดยการผ่านน้ำที่ปนเปื้อนอย่างค่อยเป็นค่อยไปเข้าสู่คอลัมน์ ซึ่งบรรจุตัวดูดซับ เมื่อน้ำไหลผ่านชั้นตัวดูดซับเป็นระยะเวลาหนึ่ง จะมีสารปนเปื้อน เกาะติดที่ผิวตัวดูดซับ ทำให้ตัวดูดซับค่อยๆหมดประสิทธิภาพตามปริมาณน้ำที่ค่อยๆ ไหลผ่านชั้นตัวดูดซับ ดังนั้นความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำที่ผ่านการดูดซับจึง เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.3 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้น ของปริมาณน้ำที่ผ่านชั้นตัวดูดซับแล้วต่อความเข้มข้นเริ่มต้นเทียบกับปริมาตรที่ใช้ เรียกว่า Breakthrough Curve



รูปที่ 2.3 แสดง Breakthrough Curve ของการทดสอบแบบคอลัมน์

ที่มา Metcalf and Eddy (1972)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โลหะหนัก (ชุตินา,2543)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียมปรอท นิกเกิล โครเมียม เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วโลหะหนักมีสภาพเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้าและการนำความร้อนได้ดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีแผ่เป็นแผ่นบางๆได้ ส่วนสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่น เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบและเสถียรกว่าโลหะอิสระ

โลหะหนักสามารถจัดแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูง ได้แก่ As , Au, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Sb, Te, และ Zn และกลุ่มที่แนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงรองลงมา ได้แก่ Ba, Bi, Fe, Mo , Ti , และ U

ความเป็นพิษของกลุ่มโลหะหนักเหล่านี้ เป็นผลมาจากการที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณแตกต่างกัน แล้วก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายนั่นเอง แหล่งที่มาที่สำคัญของโลหะหนักเหล่านี้ คือ กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งอุตสาหกรรม จากนั้นจึงเกิดการปนเปื้อนกับสิ่งแวดล้อมในดิน น้ำ อากาศ และผลผลิตจากการเกษตร และเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ และมีผลต่อเมตาโบลิซึมของเซลล์สิ่งมีชีวิต

2.4.1 ตะกั่ว

2.4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกั่ว (วิลาวัลย์และสุรจิตร,2542)

ตะกั่วเป็นธาตุตัวที่ 5 ของหมู่ 4A ในตารางธาตุ ซึ่งใช้สัญลักษณ์ทางเคมีว่า Pb มีเลขออกซิเดชัน 0,+2,+4 ตะกั่วมีสถานะออกซิเดชัน +2 ที่เสถียร สมบัติทางกายภาพของตะกั่วประกอบด้วย ความหนาแน่น 11.3 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,744 องศาเซลเซียส การนำไฟฟ้าดี ออกไซด์ของตะกั่วอยู่ในรูป PbO , PbO_2 และ Pb_2O_3 ซึ่ง Pb^{2+} จะเสถียรกว่า Pb^{4+} เกือบของตะกั่ว 2+ โดยทั่วไปไม่ละลายน้ำ ยกเว้น อะซิเตด และไนเตรดเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวอย่างอิสระให้อิออน Pb^{2+}

ตะกั่วส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแร่ เช่น แร่กาลินา (Galena) แร่เชิร์ตไซต์ (Cerussite) และแร่แองกลีไซต์ (Anglesite)

2.4.1.2 ประโยชน์ของตะกั่ว

โลหะตะกั่ว

คุณสมบัติคงทนต่อการผุกร่อน อ่อนตัว หลอมเหลวง่าย รวมทั้งมีคุณสมบัติในการป้องกันการแผ่รังสี ตะกั่วจึงใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมดังนี้

ก) หล่อตัวพิมพ์

ข) สายเคเบิล

ค) ทำหัวกระสุนปืน

ง) ชุบเคลือบโลหะอื่นเพื่อป้องกันสนิม

จ) เชื่อมบัดกรี

ฉ) อุปกรณ์ป้องกันรังสีจากเครื่องเอ็กซเรย์

ช) โลหะผสม (Alloy) ต่างๆ เช่น

- ตะกั่วผสมดีบุก เป็นโลหะบัดกรี (Solder)
- ตะกั่วผสมพลวง เป็นโลหะตัวพิมพ์
- ตะกั่วผสมดีบุกและทองแดง เป็นโลหะพิวเตอร์ (Pewer)
- ใช้ในระบบสัญญาณไฟไหม้อัตโนมัตินซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่ 70 องศาเซลเซียส

2.4.1.3 ตะกั่วอนินทรีย์

ก) ตะกั่วออกไซด์ (Lead Oxide) Lead mono-oxide (PbO) Lead dioxide (PbO₂) Lead red oxide (Pb₂O₃) ใช้ในอุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมกระจก อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบ

ข) ตะกั่วคาร์บอเนต (Lead carbonate) ตะกั่วซัลเฟต (Lead sulfate) และ ตะกั่วโครเมต (Lead Chromate) ใช้ในอุตสาหกรรมสี

ค) ตะกั่วอะซิเตต (Lead acetate) เป็นเกลือของตะกั่วที่ละลายน้ำได้ดี และใช้ในเครื่องสำอางและครีมใส่ผม

ง) ตะกั่วไนเตรต (Lead nitrate) ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกและ อุตสาหกรรมยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.4 ตะกั่วอินทรีย์

ตะกั่วเตตระเอธิล Tetraethyl lead (TEL) และ ตะกั่วเตตระเมทิล Tetramethyl lead (TML) ใช้เป็น สารเพิ่มค่าออกเทนและให้เครื่องยนต์เดินเรียบ(Antinock) ในน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นตะกั่วที่นำมาใช้ใหม่ไม่ได้ เพราะเมื่อเผาแล้ว กลายเป็นไอ เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

2.4.1.5 การเข้าสู่ร่างกาย

ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ดังนี้

1) ทางเดินหายใจ

ก๊าซหรือละอองของตะกั่วและฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.75 ไมครอน สามารถผ่านถุงลมในปอดและผ่านสู่กระแสเลือด ฝุ่นขนาดใหญ่จะติดค้างทางเดินหายใจคอนบน เช่น จมูก ช่องคอระหว่างโพรงจมูก คอและหลอดลมใหญ่ ซึ่งร่างกายจะขับออกมาในรูปของเสมหะ

2) ทางเดินอาหาร

เกิดจากการปนเปื้อนในอาหาร น้ำ โดยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง เช่น ปนเปื้อนมากับอาหาร มือที่หยิบอาหาร การสูบบุหรี่ขณะทำงาน ตะกั่วจะผ่านสู่กระเพาะอาหาร รวมทั้งการกลืนเสมหะ ทางเดินอาหาร จะดูดซึมตะกั่วเข้าสู่กระแสเลือด ประมาณ 10% ส่วนที่เหลือขับออกทางอุจจาระ

3) ทางผิวหนัง

เฉพาะตะกั่วอินทรีย์เท่านั้นที่สามารถซึมผ่านทางผิวหนังได้

2.4.1.6 การแพร่กระจายและการสะสมของตะกั่ว

ตะกั่วที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ระยะแรกมักอยู่ในสภาพ lead diphosphate ซึ่งสามารถกระจายไปตามเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) ต่างๆ เช่น สมอง ปอด ตับ ม้าม ไช กระดูก เส้นผม เป็นต้น หลังจากนั้นบางส่วนเข้าไปสะสมที่กระดูกในสภาพ lead phosphate ทั้งนี้ประมาณร้อยละ 30 ของตะกั่วในร่างกายสะสมอยู่ที่เนื้อเยื่ออ่อน และอีกร้อยละ 70 สะสมอยู่ที่กระดูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดพิษของตะกั่วที่ขึ้นอยู่กัปริมาณตะกั่วที่มีในเนื้อเยื่ออ่อน ซึ่งตะกั่วมักจะ ทำให้การเจริญเติบโตของเซลล์ต่างๆในเนื้อเยื่อทำงานผิดปกติ โดยเฉพาะระยะที่เนื้อเยื่อนั้นมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ในสภาวะที่ร่างกายมีความเครียดเกิดขึ้น เช่น ตั้งครรภ์ มีไข้ หรือมีภาวะสมดุลกรดค่างผิดปกติ ตะกั่วมักจะออกจากกระดูกเข้าไปในเลือดและกระจายเข้าสู่เนื้อเยื่ออ่อนมากขึ้น จึงทำให้ผู้ป่วยซึ่งเดิมไม่มีอาการเกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลันได้

2.4.1.7 ความเป็นพิษของตะกั่ว

การได้รับพิษเฉียบพลัน

ผู้ที่ได้รับสารตะกั่วในปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น มักจะเกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน และปวดท้องอย่างรุนแรง รวมทั้งมีอาการทางประสาท ได้แก่ ความลึกลับสน การทำงานของร่างกายไม่ประสานงานกัน สูญเสียทักษะที่เคยทำได้บางอย่าง ชัก หมดสติ และมีอาการทางสมอง (acute lead encephalopathy) ซึ่งพบได้ในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่ ส่วนระดับตะกั่วในเลือดของผู้ป่วยดังกล่าว มักสูงกว่า 100 มคก./คล . แต่มีรายงานอาการดังกล่าวในผู้ป่วยที่มีระดับตะกั่ว 70 มคก./คล. เช่นกัน

การได้รับพิษเรื้อรัง

ในผู้ป่วยที่ได้รับสารตะกั่วที่มีปริมาณน้อยกว่าที่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันเป็นระยะเวลานาน มักก่อให้เกิดอาการเป็นพิษเรื้อรัง ซึ่งมีอาการตามระบบต่างๆ ได้แก่ ระบบประสาทส่วนกลางและส่วนรอบ (central and peripheral nervous system) ระบบทางเดินอาหาร, ระบบการสร้างเม็ดเลือด และระบบไต

อาการทางระบบประสาทส่วนกลาง มักเริ่มด้วยอาการเซื่องซึม ความคิดช้า ปวดศีรษะ มึนศีรษะ เวียนศีรษะ การทรงตัวไม่ดี เง่าย และหงุดหงิด ถ้าอาการรุนแรงขึ้นมักมีอาการสั้นเวลาเคลื่อนไหว ชิมหลับ ชัก และหมดสติ นอกจากนี้ อาจพบมีประสาทตาฝ่อ และความผิดปกติในการทำงานของกล้ามเนื้อ

อาการต่อระบบประสาทส่วนรอบและกล้ามเนื้อ มักมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อและข้อต่อต่างๆ มีอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อที่ใช้บ่อยๆ เช่น กล้ามเนื้อที่ใช้กระดูกข้อมือทำให้กระดูกข้อมือไม่ได้ (wrist drop) ซึ่งอาจเป็นข้างเดียวหรือ 2 ข้างก็ได้ อาการของระบบประสาทส่วนรอบมักเป็นอาการเคลื่อนไหวเป็นหลัก (motor neuropathy) นอกจากนี้อาจมีปลายประสาทอักเสบ(peripheral neuritis) ทำให้มีอาการชาได้ แต่พบไม่บ่อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาการทางระบบทางเดินอาหาร ผู้ป่วยอาจมีอาการเบื่ออาหาร อาเจียน ปวดท้องแบบลำไส้บิดตัว (colicky pain) ซึ่งอาการสับสนกับไส้ติ่งเฉียบพลันได้ นอกจากนี้อาจมีอาการท้องผูกและท้องเดินได้ และส่วนใหญ่จะมีน้ำหนักลดลง

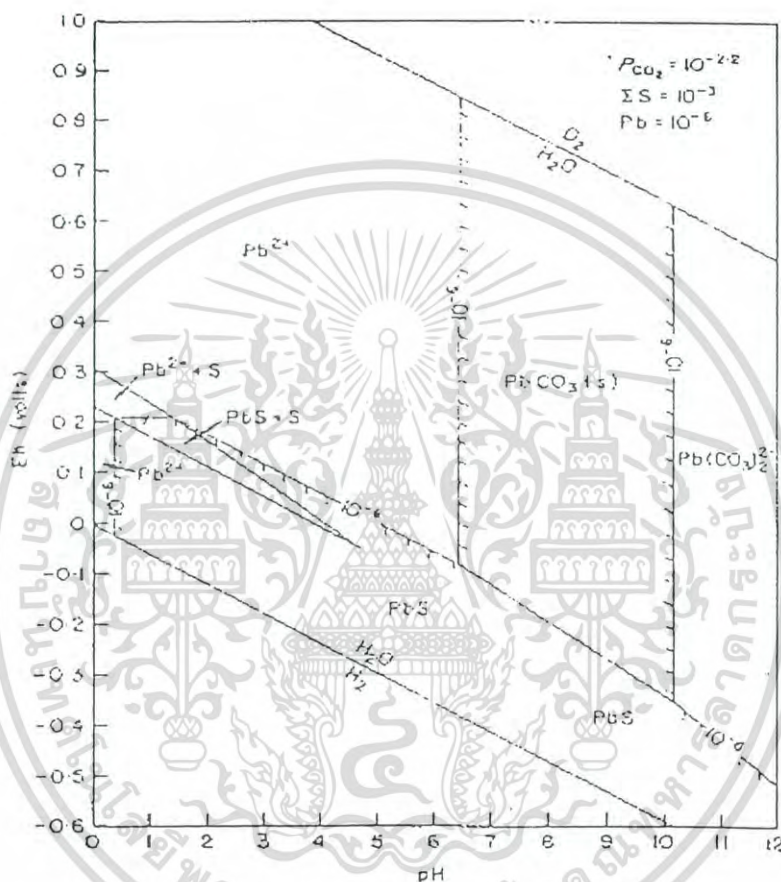
ในการสร้างเม็ดเลือด มักพบมีอาการซีด โดยทั่วไปมักพบลักษณะเม็ดเลือดมีขนาดเล็ก (hypochromic microcytic) เช่นเดียวกับการขาดธาตุเหล็ก และอาจพบเป็นแบบรูปร่างเม็ดเลือดปกติ (normochromic normocytic) ได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้อาจมีอาการเม็ดเลือดแดงแตกเฉียบพลัน (acute hemolysis) ได้ การตรวจดูโดยใช้สไลด์เลือดที่เจาะจากปลายนิ้ว (peripheral blood smear) อาจพบ basophilic stippling ในเม็ดเลือดแดง และ พบในสภาวะที่ติดเชื้อ (toxic granules) ในเม็ดเลือดขาวได้

ในผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วมานานๆ มักเกิดภาวะกระดูกหักในร่ากาย จนอาจทำให้เกิดภาวะไตวายเรื้อรัง หรือมีอาการของโรคเก๊าท์ได้ นอกจากนี้ยังมีลักษณะอื่นๆ ที่พบได้ เช่น "lead line" ซึ่งเป็นเส้นสีน้ำเงินเทาเข้มที่เหงือก เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแบคทีเรียในช่องปากกับตะกั่ว อาจพบได้ถึงร้อยละ 80 ของผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วสะสมมาเป็นเวลานานๆ แต่ค่อนข้างแยกจากโรคปริทันต์ได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.8 ความสัมพันธ์ Eh-pH ของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม

การเปลี่ยนแปลงของธาตุต่างๆ ในสิ่งแวดล้อมสามารถอธิบายได้ด้วย ไดอะแกรม Eh-pH ในรูปที่ 2.4 ซึ่งค่า Eh ที่มากกว่า 0 คือสภาวะ Oxidizing ส่วนค่าที่ Eh ต่ำกว่า 0 คือ สภาวะ Reducing

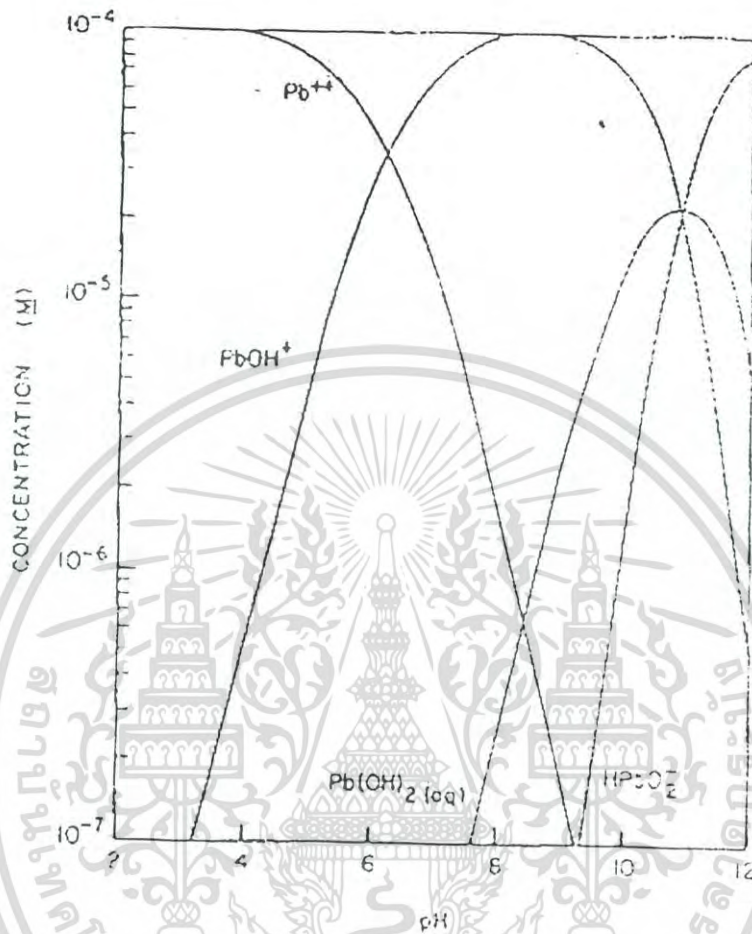


รูปที่ 2.4 ไดอะแกรม Eh-pH ของตะกั่ว (ระบบ Pb-O-H-S-C)

ทีมา สิริชัน (2543)

ใน Eh-pH ไดอะแกรม แสดงขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของตะกั่ว ซึ่งตะกั่วจะอยู่ในรูปของสารประกอบใดขึ้นกับ ค่าพีเอช (pH) และค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) ในสิ่งแวดล้อมนั้น ที่ pH ในช่วง 6.5 - 10 ตะกั่วละลายน้ำได้น้อยอยู่ในรูป $PbCO_3$ และที่ pH มากกว่า 10 อยู่ในรูป $Pb(CO_3)_2^{2-}$ ส่วนที่ pH ต่ำกว่า 6 ตะกั่วอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ (Pb^{2+})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ไอออนของตะกั่วชนิดต่างๆ ในน้ำ
ที่มา สิริชิน (2543)

ไอออนของตะกั่วในน้ำมีได้หลายรูปขึ้นกับค่า pH ดังภาพประกอบ 1.2 ใน pH ช่วง 3-10 ไอออนของตะกั่วส่วนใหญ่อยู่ในรูป $PbOH^+$ รองลงมาคือ Pb^{2+} ส่วน $Pb(OH)_2$ มีบ้างเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เปลือกหอย

เปลือกหอยเป็นวัสดุเหลือใช้และหาง่ายในท้องถิ่นเปลือกหอยเป็นสารประกอบพวกแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เป็นองค์ประกอบหลัก เปลือกหอยที่บริสุทธิ์จะประกอบด้วยแคลเซียมประมาณ 38 % (ฤทธิณรงค์, 2541) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) สามารถใช้เป็นสารตกตะกอนในการบำบัดโลหะหนักได้ เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถจับกับโลหะหนักในรูปโลหะคาร์บอเนตได้อย่างแข็งแรงและเกิดเป็นสารเชิงซ้อน นอกจากแคลเซียมคาร์บอเนตแล้วในเปลือกหอยยังมีไคตินเป็นองค์ประกอบด้วย ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพ (Biosorbent) ที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดโลหะหนัก

2.5.1 ไคติน (Chitin)

ไคตินเป็นสารอินทรีย์ที่มีมากเป็นอันดับ 2 ของโลก เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไคติน พบว่าไคตินเป็นเป็นสาร โมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ (non-electrolytic polymer) ซึ่งทำให้ไคตินไม่ละลายในสารต่างๆ ไปโดยง่าย การใช้ประโยชน์จากไคตินจึงไม่แพร่หลายนัก (วิสิฐ, 2533)

ไคตินมักจะพบตามผนังเซลล์ของพืชและสัตว์ เช่น ในยีสต์ที่เราใช้ทำเบียร์และไวน์ก็จะพบ ในส่วนที่กำลังแตกหน่อ ในพืชบางชนิดอาจพบไคตินแทนเซลลูโลสก็ได้ ส่วนในสัตว์จะมีไคตินอยู่ในคิวติเคิล (cuticle) ที่ผิวหนังอพิธิเลียม (epithelium) ส่วนมากเราจะพบไคตินมากในเปลือกสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังแมลง เชื้อรา และเชื้อยีสต์ (Austin, 1981) ได้มีผู้รายงานว่าหากเอาสิ่งเหลือทิ้งจากการแปรรูป กุ้ง ปู เคย ทัว โลกมารวมกัน จะได้ไคตินถึง 150 ล้านกิโลกรัม (Allan, 1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณผลผลิตทั่วโลกของสารประเภทไคติน (Allan, 1978)

แหล่ง	ปริมาณ ที่จับได้	ปริมาณ ของเปลือก	น้ำหนักไคติน (น้ำหนักสด)	ปริมาณของแข็ง	น้ำหนักแห้ง
หอย	1,700	50-60	468	30-35	154
กุ้งเคย	18,200	40	3,640	22	801
หอย shell-fish*	1,390	65-85	521	90-95	482
ปลาหมึก	660	20-40	99	21	21
เชื้อรา**	790	100	790	20-26	182
แมลง	น้อยมาก	-	-	21-26	-

2.5.2 ไคโตแซน (Chitosan)

ไคโตแซนมีชื่อทางเคมีว่า Poly- β -(1-4) 2- amino -2 deoxy-D-glucan มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 ไคโตแซนสามารถผลิตได้จากไคติน โดยการแยกเอาหมู่ Acetyl ออก (Deacetylation) เหลือเพียงหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ความสามารถในการใช้งานของไคโตแซนขึ้นอยู่กับหมู่อะมิโน (NH_2) เมื่อหมู่อะมิโนละลายจะรับโปรตอนกลายเป็น (NH_3^+) ทำให้ไคโตแซนมีประจุบวก ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคที่มีประจุลบ ซึ่งแขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำ

2.5.3 การใช้ประโยชน์ของไคติน - ไคโตแซน

1) ด้านอุตสาหกรรม นำมาบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม เช่น นำไคโตแซนมากำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง โดยใช้ไคตินและไคโตแซนเป็นตัวคีเลตจับโลหะหนัก เช่น โปรอท สังกะสี ทองแดง ยูเรเนียม โครเมียม แคดเมียม ในประเทศญี่ปุ่นไคตินถูกนำมาใช้ทำให้น้ำบริสุทธิ์สำหรับดื่ม ในประเทศนอร์เวย์นำไคโตแซนมาเพิ่มความใสในสระว่ายน้ำ และบ่อแร่ โดยที่ไคโตแซนจะจับจุลินทรีย์และช่วยกำจัดโลหะ

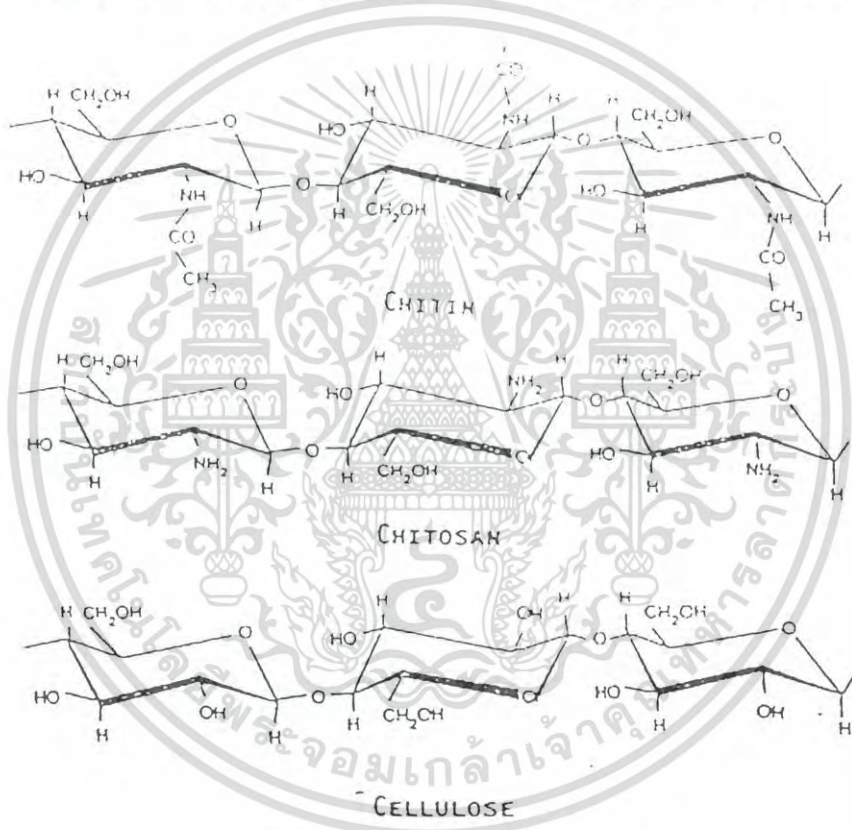
2) ด้านการแพทย์ นำไคตินและไคโตแซนมาผลิตวัสดุเร่งการรักษาบาดแผล เช่น ทำเส้นใยฟองน้ำ ค่ายยับแผล ผิวหนังเทียม เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการรักษาบาดแผลผ่าตัด และแผลไฟไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ด้านอุตสาหกรรมอาหาร นำไคโตแซนทำมายองเนส เนยถั่ว และในขนาดอาจนำมาใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มอาหาร ซึ่งมีความแข็งแรงและไม่เป็นพิษ เช่น ปลูกหุ้มไส้กรอก วัสดุห่ออาหารเข้าเตาอบ

4) ด้านอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ ไคตินมีศักยภาพในการผลิตกระดาษ เพราะเพิ่มไคตินเพียง 1% โดยน้ำหนักจะเพิ่มความทนทานของกระดาษและเร่งอัตราเร็วในการแยกน้ำออกจากเยื่อกระดาษ

5) อุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ นำไคโตแซนทำเครื่องสำอางค์ประทินผิวและบำรุงผม ไคตินนำมาเป็นส่วนผสมในโลชั่น แชมพู สบู่เหลว โฟมอาบน้ำ ยาสีฟัน



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของไคติน, ไคโตแซน และเซลลูโลส

ที่มา Knorr (1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Bassi ,Prasher and Simpson (2000) ได้ศึกษาการใช้เกลือโคโคซานในการกำจัดไอออนของโลหะหนักออกจากสารละลาย โลหะหนักที่นำมาศึกษาได้แก่ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการศึกษาผลของพีเอช ความเข้มข้นเริ่มต้น เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปริมาณของตัวดูดซับ จากผลของการศึกษาพบว่า เกลือโคโคซานมีความสามารถที่จะดูดซับไอออนของทองแดงได้มากที่สุด และมีความสามารถดูดซับไอออนของตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ได้ลดลงตามลำดับ โดย โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับมีค่าเท่ากับ 6 และ 7 การดูดซับโลหะหนักจะเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมงจะดูดซับได้น้อยลงจนมีค่าคงที่ การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับนั้นจะทำให้สามารถดูดซับไอออนของโลหะหนักได้เพิ่มขึ้น โดยที่การเขย่าเพื่อให้เกลือโคโคซานและสารละลายโลหะหนักผสมกันนั้น ไม่ได้มีผลต่อความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะหนักของโคโคซาน

2. S.E.Kuh and D.S.Kim (2000) ได้นำเอาเปลือกไข่มาทำการดูดซับแคดเมียม โดยศึกษาถึงผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณของตัวดูดซับ ความเข้มข้นของแคดเมียม ไอออน ขนาดของเปลือกไข่ อุณหภูมิ และพีเอช จากผลการศึกษาพบว่า การดูดซับแคดเมียมจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณของตัวดูดซับ อุณหภูมิ และพีเอช แต่เมื่อเปลือกไข่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะดูดซับโลหะหนักได้ลดลง

3. H.K.An , B.Y.Park and D.S.Kim (2001) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยใช้กระดองปูเปรียบเทียบกับตัวดูดซับชนิดอื่น ได้แก่ cation exchange resin , zeolite , granular activated carbon และ powder activated carbon โลหะหนักที่นำมาทำการศึกษาได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และโครเมียม ซึ่งกระดองปูมีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักได้ดีที่สุด สำหรับตัวดูดซับชนิดอื่นสามารถกำจัดโลหะหนักโดยเรียงตามลำดับได้ดังนี้ cation exchange resin zeolite powder activated carbon และ granular activated carbon การกำจัดโลหะหนักด้วยเปลือกปูนั้น แคดเมียมสามารถถูกกำจัดไปได้มากที่สุด และสามารถกำจัดตะกั่วโครเมียม และทองแดงได้ตามลำดับ โดยสารละลายโลหะหนักเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลต่อลิตร สามารถกำจัดโลหะหนักได้ประมาณ 93 - 100 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ประสิทธิ์ แผ้วบาง และ อรไท สุขเจริญ (1999) ได้ศึกษาการแยกตะกั่วออกจากแหล่งน้ำโดยใช้เปลือกไข่และเกล็ดปลาเป็นตัวดูดซับ โดยทำการศึกษาผลของพีเอช เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ความเข้มข้นของตะกั่ว และเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับตะกั่วไอออนกับการดูดซับโลหะหนักไอออนชนิดอื่น จากผลการศึกษาพบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วของเปลือกไข่และเกล็ดปลาคือ 4.5 เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับเท่ากับ 80 นาที ส่วนที่ความเข้มข้นตะกั่วต่างๆกันนั้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะดูดซับตะกั่วได้ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบการดูดซับตะกั่วกับโลหะไอออนชนิดอื่น คือ นิกเกิล ทองแดง โครเมียม พบว่า ทั้งเปลือกไข่และเกล็ดปลาสามารถดูดซับโครเมียมได้ดีที่สุด และดูดซับตะกั่วได้น้อยที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

1. เปลือกหอยแครง
2. โซเดียมไดโครเมต (Sodium dichromate, $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) เกรดวิเคราะห์
3. ตะกั่วไนเตรต (Lead nitrate, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) เกรดวิเคราะห์
4. 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (1,5-diphenyl carbazide) เกรดวิเคราะห์
5. อะซิโตน (Acetone, CH_3COCH_3) เกรดวิเคราะห์
6. แอมโมเนียมซิเตรตไดเบสิก (Ammonium citrate dibasic, $(\text{NH}_4)_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7$) เกรดวิเคราะห์
7. ไดธิซอน (Dithizone) เกรดวิเคราะห์
8. โซเดียมซัลไฟต์ (Sodium sulfite, Na_2SO_3) เกรดวิเคราะห์
9. ไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride, $\text{NH}_2\text{OH HCl}$) เกรดวิเคราะห์
10. โพแทสเซียมไซยาไนด์ (Potassium cyanide, KCN) เกรดวิเคราะห์
11. คลอโรฟอร์ม (Chloroform, CHCl_3) เกรดวิเคราะห์
12. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid, H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์
13. กรดไนตริก (Nitric acid, HNO_3) เกรดวิเคราะห์
14. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) เกรดวิเคราะห์
15. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide, NH_4OH) เกรดวิเคราะห์
16. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) เกรดการค้า
17. น้ำส้มสายชู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer รุ่น 640 UV/VIS Spectrophotometer ยี่ห้อ JENWAY
2. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer AA-680 ยี่ห้อ Shimadzu
3. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centifuge) รุ่น MSBO20 CX1.5 ยี่ห้อ SUNYO
4. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH Meter) รุ่น 251 Denver Instrument Company
5. ตู้อบ (Oven) รุ่น DIN 40050 – IP20 ยี่ห้อ Schutzart
6. เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น Hetofrig CB60 VS ยี่ห้อ Heto
7. เครื่องกรองแบบลดความดัน รุ่น B – 169 Vacuum System B'U'CHI Switzerland
8. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) รุ่น TC – 254 Denver Instrument Company
9. เครื่องบดตัวอย่าง
10. ตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 8 16 และ 100 เมช
11. คอลัมน์แก้ว เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2.0 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร
12. ถังพลาสติกมีฝาปิด
13. เครื่องแก้วต่างๆสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ

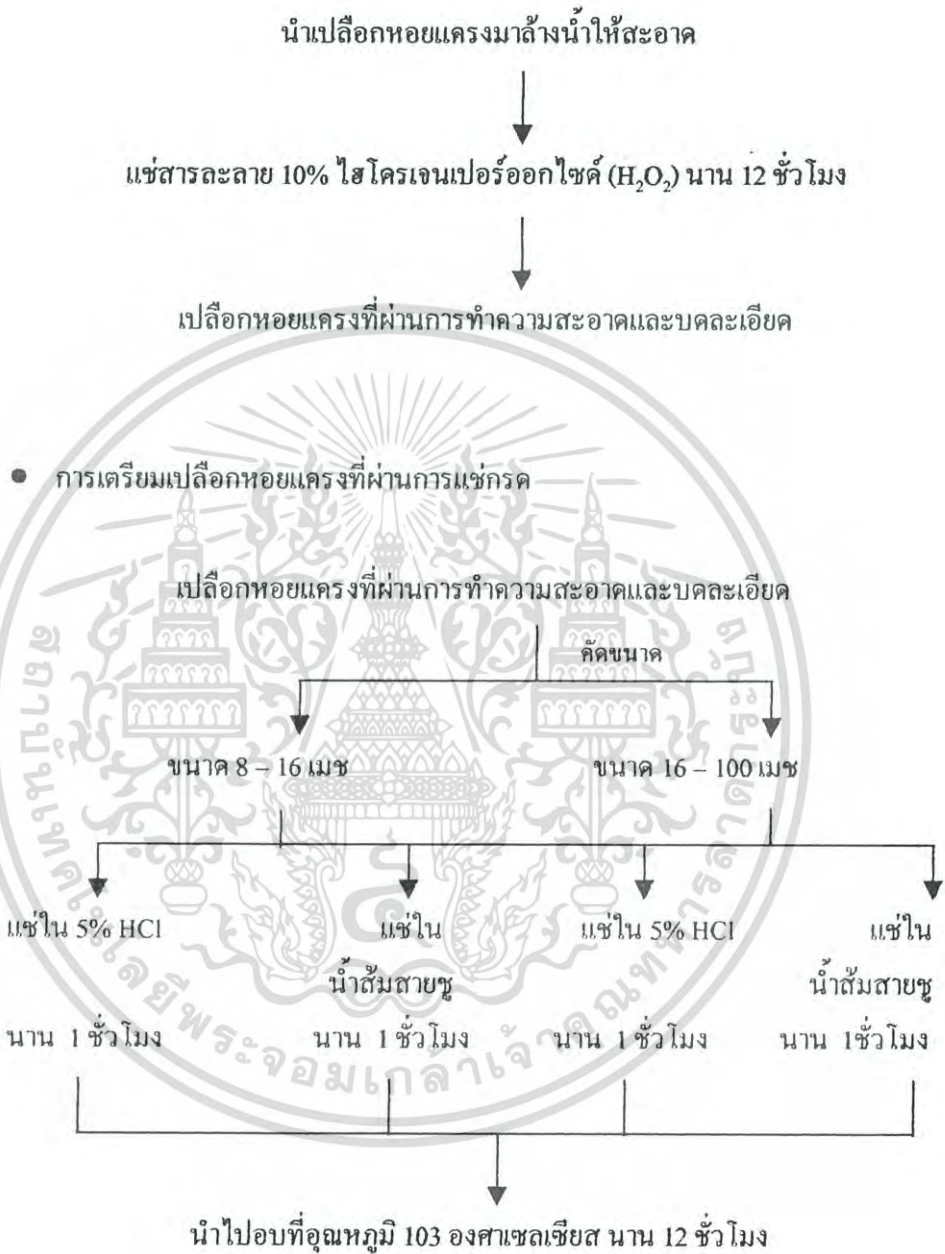
3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมโลหะหนัก

- เตรียมน้ำเสียตั้งคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 1000 mg/L จาก Lead nitrate ($Pb(NO_3)_2$) โดยชั่ง $Pb(NO_3)_2$ 1.5990 g ละลายน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1000 ml
- น้ำเสียที่มีโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการเคมีชั้น 4 ตึกสมเด็จพะเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกหอยแครง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเตรียมเปลือกหอยแครงที่ไม่ผ่านการแช่กรด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2 ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

ชั่งเปลือกหอยแครงที่เตรียมได้ปริมาณ 0 0.1 0.2 0.5 1.0 และ 2.0 g
ตามลำดับ (ตัวดูดซับ)

เติมตัวดูดซับในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 1 mg/L ปริมาตร 100 ml

นำไปเขย่านาน 1 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำใสส่วนบนออก

วิเคราะห์ปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำด้วย AAS

เขียนกราฟลอการิทึมระหว่างความเข้มข้นตะกั่วที่เหลือในน้ำ (C)
กับปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (X/M)

พิจารณาตัวดูดซับที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วแบบต่อเนื่อง

ผ่านตัวอย่างน้ำที่ห้องปฏิบัติการเคมีลงในคอลัมน์ที่บรรจุตัวดูดซับ
ด้วยอัตราเร็วคงที่ 1.2 L/hr มีทิศทางการไหลเป็นแบบไหลลง (downflow)



เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านคอลัมน์ทุก 1 ชั่วโมง มา
วิเคราะห์ความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำ (C)



เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือ (C)
ต่อความเข้มข้นเริ่มต้น (C₀) กับปริมาณของตัวดูดซับในคอลัมน์ (BV)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การนำเสนอโครงการพิเศษเรื่องการกำจัดตะกั่วโดยใช้เปลือกหอยแครง ซึ่งมีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแครงที่ใช้ ศึกษากลไกการกำจัดตะกั่วในน้ำ โดยใช้ น้ำ ตะกั่วสังเคราะห์ และน้ำปนเปื้อนตะกั่วจากห้องปฏิบัติการเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งการนำเสนอเป็นแบบตาราง ภาพประกอบ และอภิปรายผล แยกเป็นการทดลองย่อยๆ ตามลำดับ เพื่อความสะดวกในการทำความเข้าใจ

4.1 ผลการศึกษาลักษณะของเปลือกหอยแครง

นำเปลือกหอยแครงมาแช่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10 % เพื่อทำความสะอาด ทำให้แห้ง บดให้ละเอียด มาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 8 - 16 เมช และ 16 - 100 เมช นำมาแช่กรดเกลือหรือน้ำส้มสายชูตามวิธีที่ได้กล่าวไว้แล้วในวิธีดำเนินการวิจัย จากนั้นนำมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction และ X-Ray Fluorescence

4.1.1 การศึกษาองค์ประกอบของเปลือกหอยแครง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกหอยแครงด้วย X-Ray Fluorescence พบว่า ในเปลือกหอยแครงมีสารประกอบต่างๆ ดังตารางที่ 4.1

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ
Na ₂ O	0.5560
MgO	0.0393
Al ₂ O ₃	0.4630
SiO ₂	1.1100
P ₂ O ₅	0.0847
SO ₃	0.1220
Cl	0.0222
K ₂ O	0.0554
CaCO ₃	59.900
TiO ₂	0.0353
Cr ₂ O ₃	0.0184
MnO	0.0156
Fe ₂ O ₃	0.5330
SrO	0.1860

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของเปลือกหอยแครงเมื่อวิเคราะห์ด้วย
เครื่อง X-Ray Fluorescence

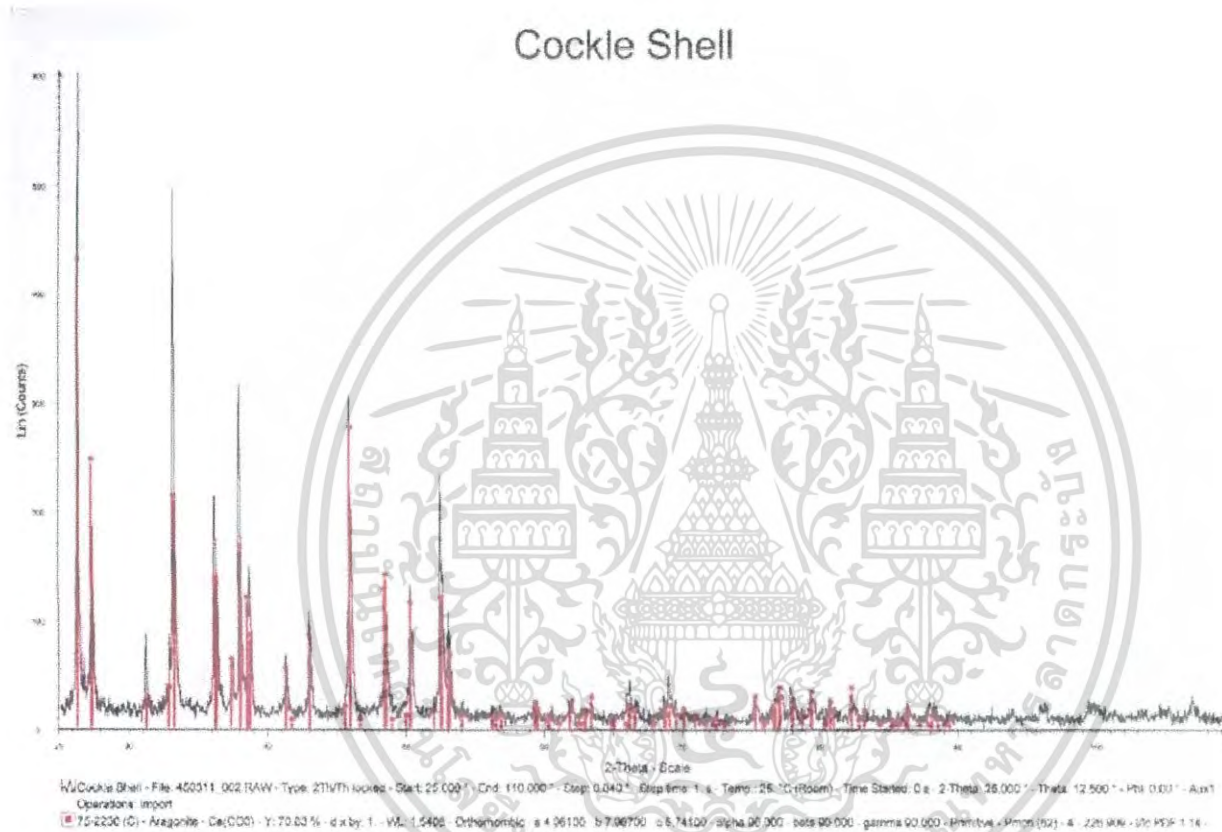


รูปที่ 4.1 ลักษณะของเปลือกหอยแครงที่ผ่านการบดและแยกขนาดแล้ว

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) พบว่า

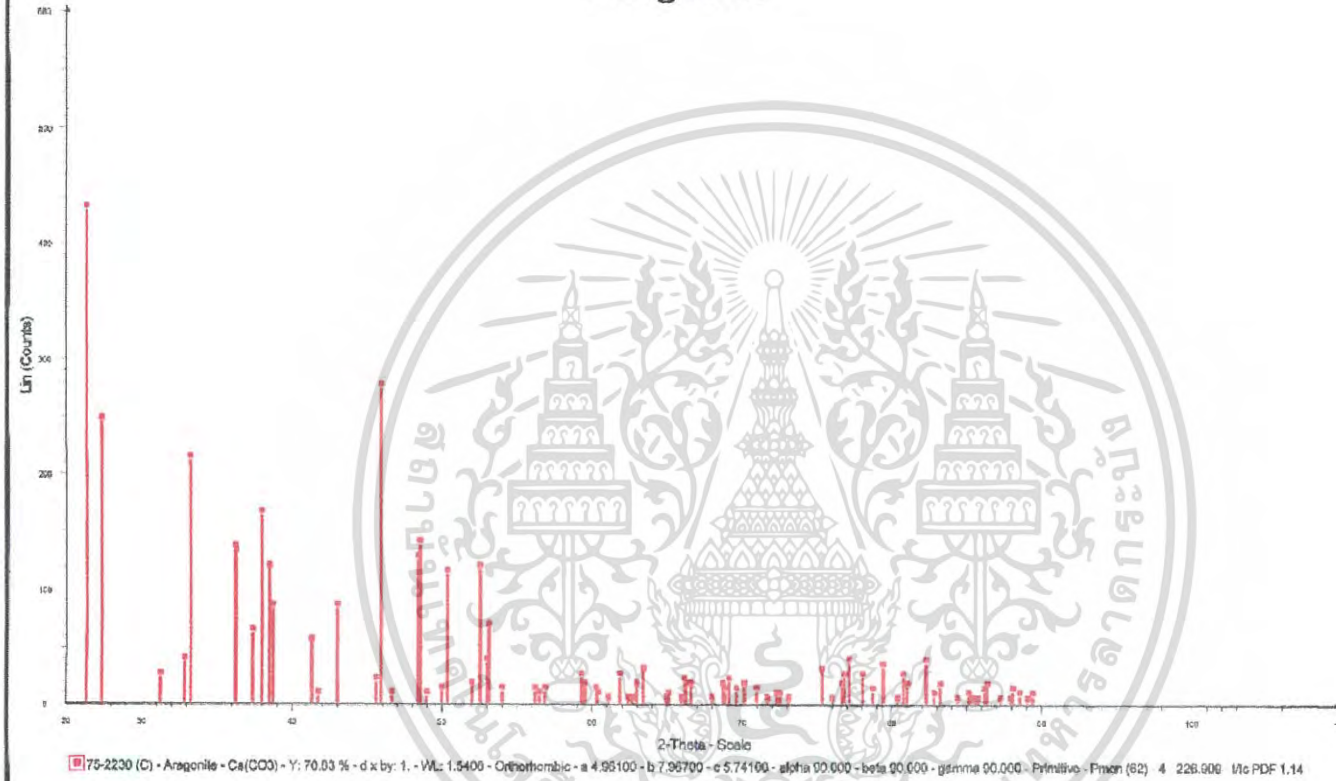
องค์ประกอบหลักของเปลือกหอยแครง คือ Aragonite (CaCO₃) ดังรูปที่ 4.2-4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



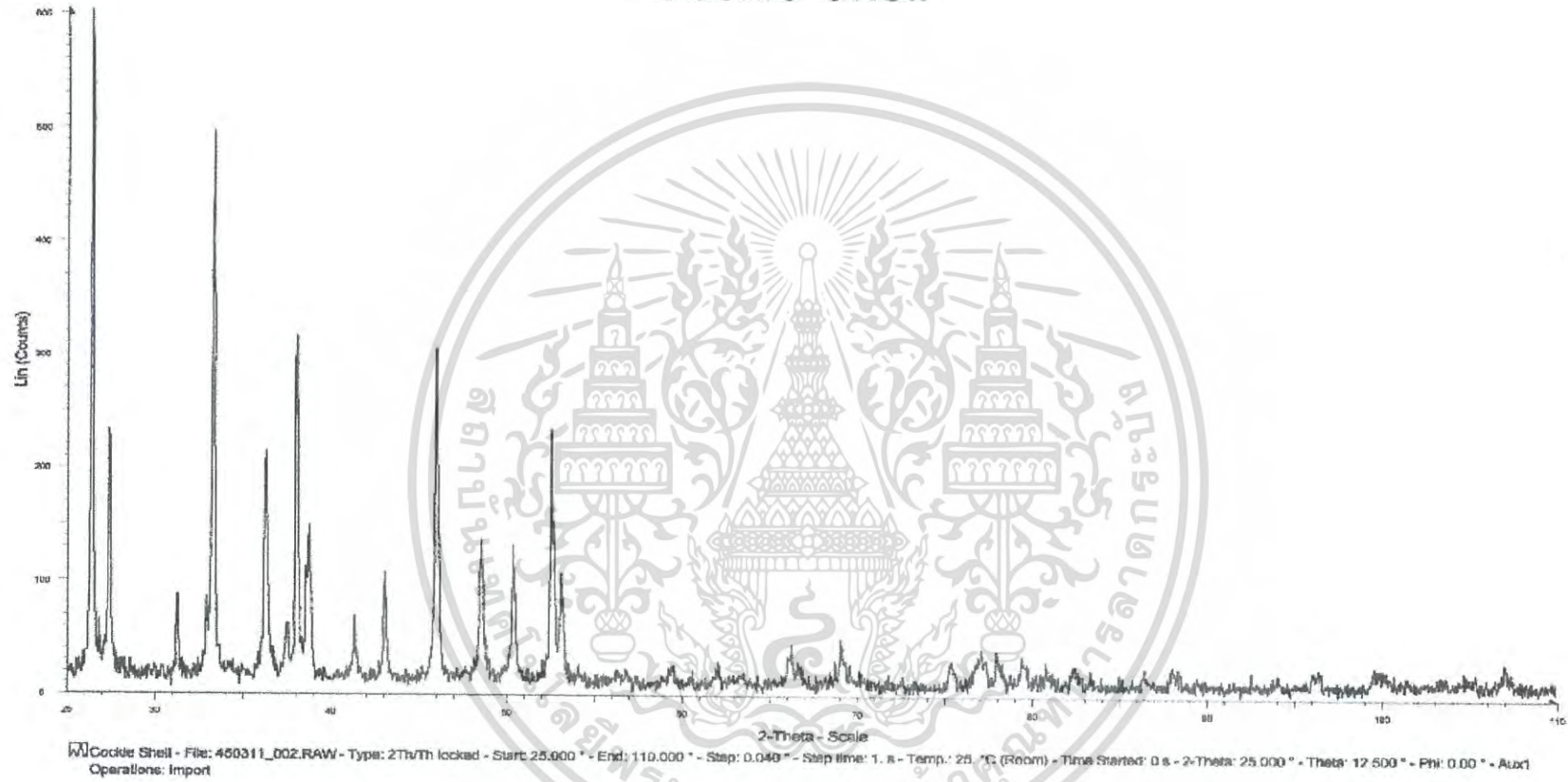
รูปที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกหอยแครงเทียบกับกราฟมาตรฐาน Aragonite (CaCO₃) ด้วย X- Ray Diffraction

Aragonite



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟมาตรฐานของ Aragonite (CaCO₃) ด้วย X- Ray Diffraction

Cockle Shell



รูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกหอยแครงด้วย X-Ray Diffraction

4.2 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วแบบไม่ต่อเนื่อง

(Batch test)

4.2.1 ผลการศึกษาเบื้องต้น

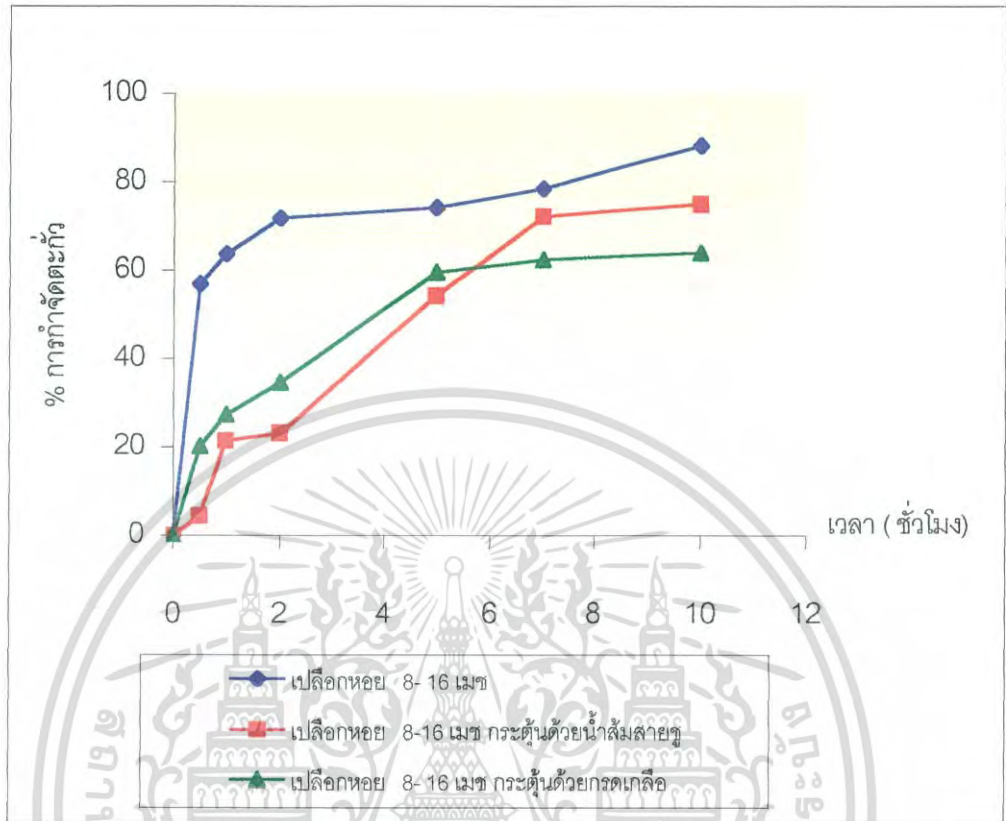
การทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง ใช้ตะกั่วสังเคราะห์ความเข้มข้น 1 mg/l ปริมาตร 100 ml. เขย่าที่เวลาต่างๆ กัน ได้ผลดังตารางที่ 4.2 และสามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วกับเวลา แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วโดยใช้เปลือกหอยแครง

ชนิดตัวดูดซับ	เวลา (ชั่วโมง)					
	0.5	1	2	5	7	10
	%R	%R	%R	%R	%R	%R
เปลือกหอย ขนาด 8-16 เมช	56.93	63.73	71.86	74.17	78.53	88.23
เปลือกหอยขนาด 8- 16 เมช กระตุ้นน้ำส้มสายชู	4.40	21.47	23.13	54.27	72.20	75.00
เปลือกหอยขนาด 8- 16 เมช กระตุ้นกรดเกลือ	20.20	27.40	34.67	59.60	62.37	64.03
เปลือกหอย ขนาด 16-100 เมช	57.10	61.27	65.53	77.83	81.20	83.40
เปลือกหอยขนาด 16-100 เมช กระตุ้นน้ำส้มสายชู	66.07	71.33	75.33	77.07	85.17	91.93
เปลือกหอยขนาด 16-100เมช กระตุ้นกรดเกลือ	69.73	72.87	75.03	83.43	85.77	88.77

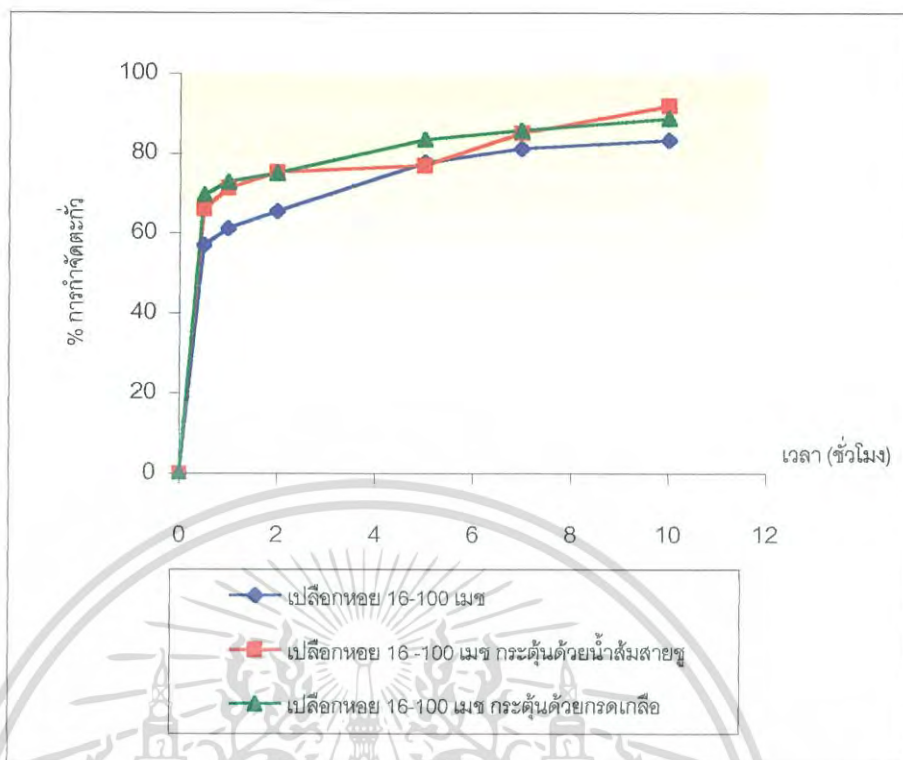
หมายเหตุ %R แทนเปอร์เซ็นต์ การกำจัดตะกั่ว (Lead Removal)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดง เปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วด้วยเปลือกหอยขนาด 8 – 16 เมช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดง เปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วด้วยเปลือกหอยแครงขนาด 16-100 เมช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้จากตาราง 4.2 และภาพประกอบ 4.5 และ 4.6 เปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง โดยในการทดลองนี้ใช้เวลาน้อยที่สุดคือ 30 นาที และ ใช้เวลามากที่สุดคือ 10 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปถึงชั่วโมงที่ 10 สามารถกำจัดตะกั่วได้ถึง 75 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์

4.2.2 ผลการศึกษาไอโซเทอร์ม

จากการทดลองการกำจัดตะกั่ว โดยใช้เปลือกหอยแครงในปริมาณต่าง ๆ กัน ทำการเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มของเปลือกหอยแครงขนาด 8- 16 เมช และ 16-100 เมช

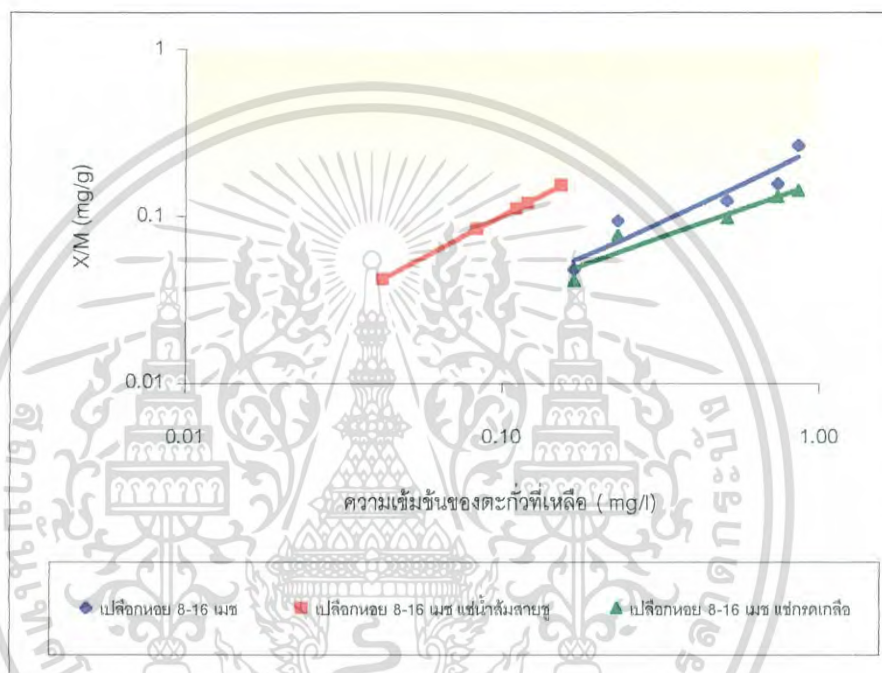
ชนิดตัวดูดซับ	น้ำหนัก (กรัม)	ความเข้มข้น ของตะกั่ว (mg/l)	X/M (mg/g)	% Removal
เปลือกหอยขนาด 8-16 เมช	0.0	1.000	-	0.00
	0.1	0.735	0.265	26.50
	0.2	0.686	0.157	31.37
	0.5	0.382	0.124	61.8
	1.0	0.059	0.094	94.13
	2.0	0.036	0.048	96.37
เปลือกหอยขนาด 8-16 เมช กระดุนด้วย น้ำส้มสายชู	0.0	1.000	-	0.00
	0.1	0.847	0.153	0.57
	0.2	0.761	0.120	23.83
	0.5	0.442	0.111	59.97
	1.0	0.160	0.084	84.00
	2.0	0.154	0.042	84.57
เปลือกหอยขนาด 8-16 เมช กระดุนด้วย กรดเกลือ	0.0	1.000	-	0.00
	0.1	0.858	0.142	14.13
	0.2	0.738	0.131	26.17
	0.5	0.514	0.097	48.60
	1.0	0.232	0.077	76.80
	2.0	0.168	0.041	83.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดตัวดูดซับ	น้ำหนัก (กรัม)	ความเข้มข้น ของตะกั่ว (mg/l)	X/M (mg/g)	% Removal
เปลือกหอยขนาด 16-100 เมช	0.0	1.0	-	0.00
	0.1	0.269	0.731	73.13
	0.2	0.143	0.420	84.07
	0.5	0.159	0.170	84.87
	1.0	0.151	0.086	85.70
	2.0	0.058	0.047	94.20
เปลือกหอยขนาด 16-100 เมช กระตุ้นด้วย น้ำส้มสายชู	0.0	1.000	-	0.00
	0.1	0.281	0.719	71.87
	0.2	0.253	0.374	74.70
	0.5	0.097	0.161	90.33
	1.0	0.035	0.097	96.53
	2.0	0.018	0.044	99.30
เปลือกหอยขนาด 16-100 เมช กระตุ้นด้วย กรดเกลือ	0.0	1.000	-	0.00
	0.1	0.440	0.560	56.03
	0.2	0.306	0.351	70.07
	0.5	0.299	0.139	72.67
	1.0	0.124	0.088	87.57
	2.0	0.118	0.044	88.23

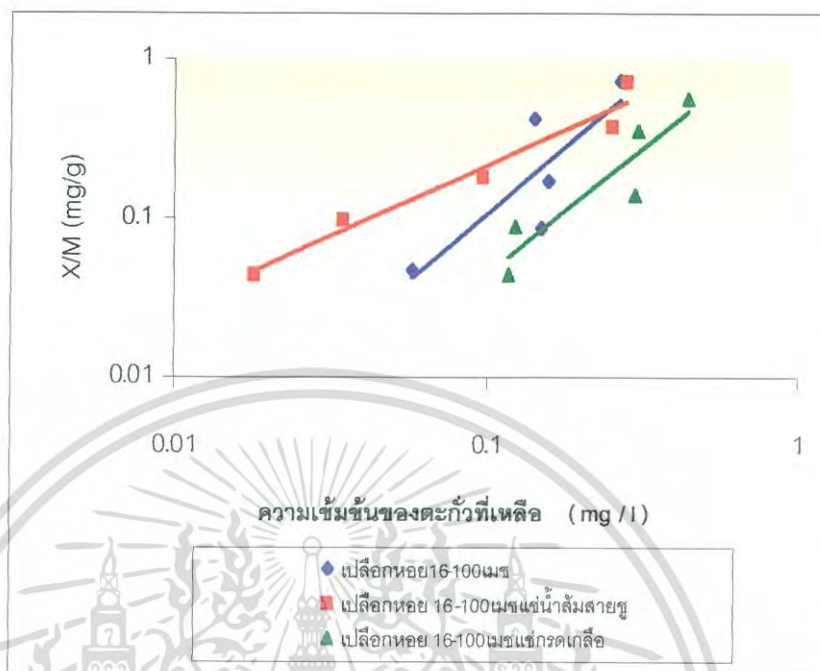
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากตารางที่ 4.3 สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ ความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือเพื่อคำนวณหาค่าคงที่ตามสมการ Freundlich ได้ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ ความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือของเปลือกหอยแครงขนาด 8-16 เมช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X/M กับ ความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือน้ำของเปลือกหอยแครงขนาด 16 – 100 เมช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 สามารถคำนวณ ค่าคงที่ $1/n$ และ K ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าคงที่ $1/n$ และ K จากการคำนวณด้วยสมการการดูดซับแบบ Freundich

ขนาด	กรดกระตุ้น	ค่าคงที่	เปลือกหอยแครง
8 -- 16 เมช	--	$1/n$	0.1292
		K (mg/g)	1.4669
	กรดเกลือ	$1/n$	0.1437
		K (mg/g)	1.4618
	น้ำส้มสายชู	$1/n$	1.0000
		K (mg/g)	10
16 -- 100 เมช	--	$1/n$	3.2166
		K (mg/g)	1012.9800
	กรดเกลือ	$1/n$	1.4341
		K (mg/g)	19.9894
	น้ำส้มสายชู	$1/n$	2.0623
		K (mg/g)	115.8244

สมการ Freundich

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

หรือ

$$\log X/M = \log K + 1/n \log C$$

จากเส้นตรงในสเกล log-log สามารถอ่านค่า K และ $1/n$ ได้

โดยที่

$1/n$ = ความชันของเส้นตรง

$K = X/M$ (mg/g) เมื่อ $C=1$ mg/l

ความสามารถในการดูดซับเมื่อความเข้มข้น
สารปนเปื้อนเท่ากับ 1 mg/l

เมื่อ

X = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (mg)

M = ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 อธิบายความหมายของค่า K และ $1/n$

$1/n$	K	คำอธิบาย
ต่ำ	สูง	ความสามารถในการดูดซับสูงและจะเปลี่ยนตามความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในอัตราที่ไม่สูงมากนัก
	ต่ำ	ความสามารถในการดูดซับต่ำในทุกช่วงความเข้มข้น
สูง	สูง	ความสามารถในการดูดซับสูงมากเมื่อความเข้มข้นสูง และความสามารถในการดูดซับจะลดลงอย่างมากเมื่อความเข้มข้นต่ำ
	ต่ำ	ความสามารถในการดูดซับสูงเมื่อความเข้มข้นสูง และความสามารถในการดูดซับต่ำเมื่อความเข้มข้นต่ำ

ทีมา สิริชิน (2543)

จากค่า K และ $1/n$ ที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับสารจากตารางที่ 4.5 นำมาอธิบายเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับตะกั่วของตัวดูดซับแต่ละชนิด เมื่อพิจารณาตัวดูดซับขนาด 8 - 16 เมช พบว่า เส้นกราฟของเปลือกหอยที่กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชูอยู่สูงกว่าและมีค่า K สูงกว่าของเปลือกหอยชนิดอื่น แสดงว่าเปลือกหอยที่กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชูมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วดีกว่าเปลือกหอยชนิดอื่น และค่าความชัน ($1/n$) ของเปลือกหอยที่กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชู มีค่าสูงกว่า แสดงว่า ที่ความเข้มข้นต่ำเปลือกหอยที่ไม่ผ่านการกระตุ้นและเปลือกหอยที่กระตุ้นด้วยกรดเกลือสามารถดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นต่ำ

เมื่อพิจารณาเปลือกหอยขนาด 16 -100 เมช พบว่า เปลือกหอยที่ไม่ผ่านการกระตุ้นมีค่า K และค่าความชัน ($1/n$) สูงกว่าเปลือกหอยอื่น แสดงว่า เปลือกหอยที่ไม่ผ่านการกระตุ้นมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วดีกว่าเปลือกหอยชนิดอื่นที่ความเข้มข้นสูง ซึ่งที่ความเข้มข้นต่ำเปลือกหอยที่ไม่ผ่านการกระตุ้นจะสามารถดูดซับตะกั่วได้น้อย

ขนาดของตัวดูดซับก็มีผลต่อความสามารถในการดูดซับตะกั่ว โดยที่ตัวดูดซับขนาดเล็กสามารถดูดซับตะกั่วได้มากกว่า พิจารณาได้จากเปลือกหอยแครงขนาดต่างกัน แต่กระตุ้นด้วยกรดน้ำส้มสายชูเหมือนกับ พบว่า ค่า K ของเปลือกหอยแครงขนาด 16 - 100 เมช นั้นมีค่าเท่ากับ 115.8244 มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมเปลือกหอยแครง ในขณะที่เปลือกหอยแครงขนาด 8 - 16 เมช มีค่า K เท่ากับ 10.00 มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมเปลือกหอย แสดงว่าเปลือกหอยแครงขนาดเล็กมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกหอยแครงขนาดใหญ่ในทุกความเข้มข้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรดที่กระตุ้นต่างชนิดกัน จะพบว่าเปลือกหอยแครงที่กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชูจะเป็นตัวดูดซับที่มีคุณสมบัติในการดูดซับดีกว่าการกระตุ้นด้วยกรดเกลือ

ดังนั้น เปลือกหอยแครงที่กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชูจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาทำการทดลองในขั้นต่อไป เนื่องจากเปลือกหอยแครงที่กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชูสามารถกำจัดตะกั่วได้ดีที่สุดจากการทดลองข้างต้น และมีค่า K ที่ค่อนข้างสูงพอสมควร

4.3 การศึกษาการลดปริมาณตะกั่วในน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จากการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องที่ผ่านมา พบว่าวัสดุที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว คือ เปลือกหอยแครงขนาด 16 -100 เมช กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชู และเมื่อนำมาทดสอบแบบต่อเนื่อง โดยผ่านคอลัมน์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร มีทิศทางการไหลของน้ำเป็นแบบ down Flow อัตราเร็ว 1.2 ลิตรต่อชั่วโมง ทำการเก็บน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ทุกๆ 1 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์ตะกั่วที่เหลือได้ผลดังตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.9 แสดงรูปคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่อง

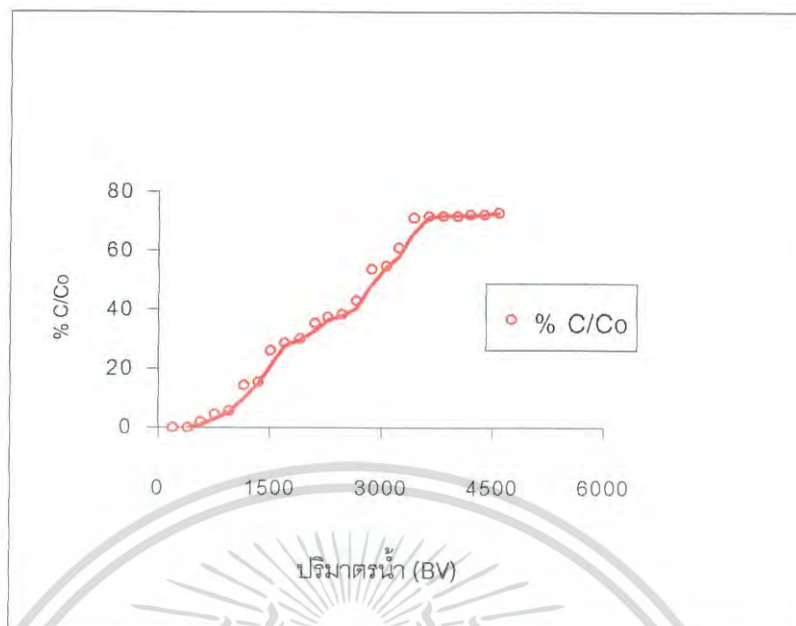
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความเข้มข้นตะกั่วที่เหลือน้ำหลังผ่านคอลัมน์ที่บรรจุ
เปลือกหอยแครงขนาด 16-100 เมชที่กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชู

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ลิตร)	ปริมาตรน้ำ (BV)	ความเข้มข้นตะกั่ว (mg/L)	%(C/Co)
60	1.2	191.08	0.00	0.00
120	2.4	382.17	0.00	0.00
180	3.6	573.25	0.27	1.80
240	4.8	764.33	0.72	4.80
300	6.0	955.41	0.83	5.53
360	7.2	1146.50	2.12	14.13
420	8.4	1337.58	2.32	15.46
480	9.6	1528.66	3.94	26.27
540	10.8	1719.75	4.30	28.67
600	12.0	1910.83	4.55	30.33
660	13.2	2101.91	5.33	35.53
720	14.4	2292.99	5.58	37.20
780	15.6	2484.08	5.74	38.27
840	16.8	2675.16	6.43	42.87
900	18.0	2866.24	8.07	53.80
960	19.2	3057.32	8.26	55.06
1020	20.4	3248.41	9.14	60.93
1080	21.6	3439.49	10.72	71.46
1140	22.8	3630.57	10.74	71.60
1200	24.0	3821.66	10.76	71.73
1260	25.2	4012.74	10.77	71.80
1320	26.4	4203.82	10.82	72.13
1380	27.6	4394.90	10.85	72.33
1440	28.8	4585.99	10.92	72.80

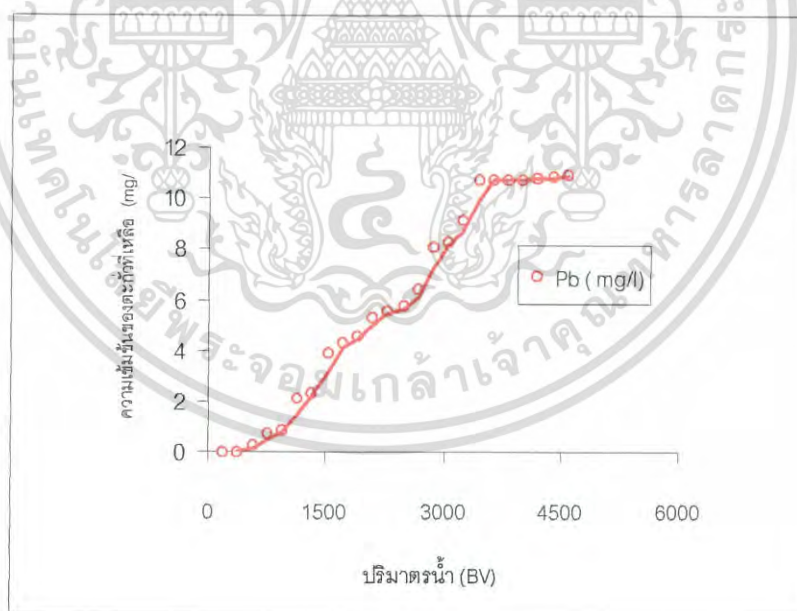
หมายเหตุ : ความเข้มข้นเริ่มต้น (Co) เท่ากับ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดง Breakthrough Curve ของตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 15 mg/l

BV : ปริมาตรบรรจุคอลัมน์



รูปที่ 4.11 แสดง Breakthrough Curve ของตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 15 mg/l

BV : ปริมาตรบรรจุคอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง 4.5 รวมทั้งรูปที่ 4.10 และ รูปที่ 4.11 จะเห็นว่าเปลือกหอยแครงขนาด 16 -100 เมช ที่กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชูสามารถบำบัดน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการเคมีได้ โดยบำบัดได้ปริมาณเป็น 522 เท่าของคอลัมน์ โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีตะกั่วไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม (ดูจากภาคผนวก ง.) และจากการคำนวณพบว่า ปริมาตรบรรจุของคอลัมน์ 6.28 มิลลิลิตร สามารถดูดซับตะกั่วได้ 157.20 มิลลิกรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การพัฒนาเปลือกหอยแครงมาใช้บำบัดน้ำทิ้งที่ปนเปื้อน โลหะหนักจากห้องปฏิบัติการเคมีนั้นมีความเป็นไปได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสามารถในการกำจัดตะกั่ว ซึ่งการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ การเตรียมเปลือกหอยแครง การศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วแบบไม่ต่อเนื่องด้วยน้ำปนเปื้อนตะกั่วที่สังเคราะห์ขึ้น และศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วแบบต่อเนื่องด้วยน้ำปนเปื้อน โลหะหนักจากห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของเปลือกหอยแครง โดยเปลือกหอยแครงนั้น จะผ่านการทำความสะอาด คัดขนาด และนำมาแช่กรด และจากการศึกษาคุณสมบัติของเปลือกหอยแครงพบว่า เปลือกหอยแครงมีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เป็นองค์ประกอบหลัก

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch Test) ด้วยการใช้น้ำตะกั่วสังเคราะห์ ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 2 การทดลอง ในการศึกษาเบื้องต้นพบว่า เมื่อทำการทดลองที่ 30 นาทีนั้นก็สามารกำจัดตะกั่วได้ และเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นจะสามารถกำจัดตะกั่วได้เพิ่มขึ้น โดยสามารถกำจัดตะกั่วได้ 75 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และจากการเปรียบเทียบความสามารถของเปลือกหอยแครงแต่ละชนิด จากการทดลองไอโซเทอร์ม พบว่า เปลือกหอยแครงขนาด 16 - 100 เมช ที่กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชูมีความสามารถในการกำจัดตะกั่วได้ดีที่สุด โดยพิจารณาจากความสามารถในการกำจัดตะกั่วในขั้นตอนการศึกษาเบื้องต้น ค่า K และค่า $1/n$ ซึ่งคำนวณจากสมการ Freundlich พบว่าที่ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า K เท่ากับ 115.8244 มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมเปลือกหอยแครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาคาดว่า การกำจัดตะกั่วในน้ำน่าจะเกิดปฏิกิริยาแทนที่ (Displacement) โดย ไอออนของตะกั่วเข้าแทนที่ไอออนของแคลเซียมในแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเปลือกหอยแครง ดังสมการ



เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) เป็นสารที่สามารถละลายน้ำ และ แดกตัวเป็น คาร์บอเนต (CO₃²⁻) และ ไบคาร์บอเนต (HCO₃⁻) ได้ ดังสมการ



ดังนั้นปฏิกิริยาที่ 2 ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นคือ การละลายของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครง แล้วเกิดการตกตะกอน (Precipitation) กับ ไอออนตะกั่วบริเวณผิวเปลือกหอย ซึ่งมีความเข้มข้นของคาร์บอเนตไอออนค่อนข้างสูง เกิดเป็นสารประกอบตะกั่วคาร์บอเนต (PbCO₃) แล้วถูกดูดซับบริเวณที่ผิวเปลือกหอยบริเวณที่มีโคคินได้

ขั้นตอนที่ 3 ทดลองบำบัดน้ำตะกั่วแบบต่อเนื่อง โดยใช้น้ำทิ้งที่ปนเปื้อนตะกั่วจากห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พบว่าคอลัมน์ที่เตรียมขึ้นสามารถบำบัดน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนตะกั่วที่มีความเข้มข้น 15 mg/l ได้ โดยคำนวณความสามารถในการดูดซับตะกั่วแบบต่อเนื่องได้เท่ากับ 31.45 mg ตะกั่ว/กรัมเปลือกหอยแครง

จากการทดลองที่ผ่านมาทำให้ทราบได้ว่าเปลือกหอยแครงนั้นสามารถที่จะกำจัดตะกั่วในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีได้ และเป็นกระบวนการที่มีต้นทุนถูกสามารถทำได้ง่ายและลดปริมาณตะกั่วได้ในระดับหนึ่งถ้าหากมีการพัฒนาตัวดูดซับให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น อีกทั้งยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาทิ้งถมมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเป็นการลดของเสียที่จะออกสู่สิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการศึกษาพบว่า เปลือกหอยมีแนวโน้มที่จะดูดซับโลหะหนักได้ดีในช่วงความเข้มข้นต่ำๆ ซึ่งน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการเคมีนั้นมีความเข้มข้นของโลหะหนักค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงควรที่จะมีการศึกษาเพื่อนำเอาตัวดูดซับชนิดอื่นมาใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนัก

5.2.2 ควรมีการศึกษาว่าเปลือกหอยชนิดใดมีความเป็นไปได้ที่จะให้ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักสูงสุด เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาตัวดูดซับในอนาคตต่อไป

5.2.3 ควรมีการศึกษาถึงสภาวะที่อาจส่งผลให้ตะกั่วที่ถูกดูดซับไว้ในเปลือกหอยนั้นแพร่กระจายออกมาสู่สิ่งแวดล้อมถ้าหากอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

5.2.4 ควรมีการศึกษาถึงแนวทางการกำจัดเปลือกหอยที่ดูดซับตะกั่วแล้ว เพื่อไม่ให้เกิดการแพร่กระจายของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

5.2.5 ควรทำการศึกษาผลของการประยุกต์ใช้ตัวดูดซับที่พัฒนาจากเปลือกหอยแครง ในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีโลหะชนิดอื่นเจือปน

บรรณานุกรม

1. กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงอุตสาหกรรม “100 ปีกระทรวงอุตสาหกรรม” บริษัททองรัตน จำกัด, กทม., 2535.
2. ชูติมา เสพย์ธรรม, “การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยเถ้าลอยที่ผ่านการปรับปรุง” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
3. ณรงค์ฤทธิ์ บุสดี, “สไลด์ประกอบคำบรรยาย เรื่อง การตรวจสอบแร่ธาตุ ได้แก่ เปลือกหอย, กระจุกปูน, ปูนขาว และโดแคลเซียมฟอสเฟต” วิทยานิพนธ์ภาควิชาการผลิตสัตว์, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
4. ประไพรัตน์ ผ่องแผ้ว และ สมฤทัย รุจิราวโรคม, “การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยกระบวนการเฟอร์ไรต์”, โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538.
5. แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, “หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ”, ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ชวนชม, 2534.
6. วิลาวัลย์ จำประเสริฐ และ สุรจิต สุนทรธรรม, “อาชีวเวชศาสตร์ ฉบับพิชิตวิทยา”, โครงการตำรา กระทรวงสาธารณสุข, 2542.
7. วิศิษฐ์ จະวะติ และ ลูกจันทร์ ภักดิ์พันธ์, “โคโคแซนพอลิเมอร์ตัวใหม่จากของเหลือทิ้งสัตว์น้ำ”, วารสารอุตสาหกรรมเกษตร ปีที่ 1 (2538).
8. สิริขึ้น ตะนุสะ, “การดูดซับตะกั่วโดยการพัฒนาตัวกลางดูดซับที่ได้จากกระดองปูและเปลือกหอยแครง”, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2543.
9. Allan, GG, Fox, J.R. and Kong, N. A “Critical evaluation of potential source of chitin and chitosan”, Proceeding of 1st international conference on chitin/chitosan, (R.A.A. Muzzarelli and E.R. Pariser ed.) MIT Sea Grant Program, Massachusetts International of Technology, Cambridge, MA., 1987.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. APHA ,AWWA and WPCF " Standard Methods for Examination of Water and Wastewater". 19th ed., 1995.
11. Austin , P.R. , Brine , C. J. , Castle , J.E. and Torres , J. A. "Chitin :New Facets of research" , Science ,1981.
12. Hamilton , J.W. and Wetterhahn , K.E. in Chromium , "Handbook of toxiccity of inorganic compound (seiler , H.G. and Sigel ,H. Eds.) Macle Deker Inc. , USA. ,1998.
13. Knorr , D. "Use of chitosan polymers in food" , Food . Tech. , 38 (1984) : 85
14. Koren , H. " In Illustrated Dictionary of Environmental Health and Occupational Safety" , Lewis Publisher , Newyork.
15. Matcalf and Eddy boston , " Wastewater Engineering" , McGraw – Hill , NewYork ,1972.
16. Papp , J.F. , "Bureau of Mincs Bullctin 675." US. Government Printing Offic , 1985:139 –155.
17. Suzuki ,M. " Adsorption Engineering" , Tokyo : Elsevier,Inc. , 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยวิธีไตโซไซทอน

ก.1 การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายตะกั่วพร้อมใช้

- ละลายตะกั่วไนเตรต 0.1622 g ในน้ำ 200 ml เดิมกรดไนตริกเข้มข้น 10 ml แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1000 ml ได้สารละลายสต็อกตะกั่ว

- ปิเปตสารละลายสต็อกตะกั่วมา 2 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ได้สารละลายตะกั่วพร้อมใช้

2. สารละลายกรดไนตริก (1+4)

เจือจางกรดไนตริกเข้มข้น 200 ml ด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1000 ml

3. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (1+99)

เจือจางแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 ml ด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1000 ml

4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (1+1)

เจือจางกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 50 ml ด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 ml

5. สารละลายซิงค์ไนเตรตไฮกาลีไนต์

ละลายแอมโมเนียมซิงค์ไตรไฮไดรเอต 100 g โซเดียมซัลไฟด์ 5 g ไฮดรอกซีลามีเนไฮโดรคลอไรด์ 2.5 g และโปแตสเซียมไฮกาลีไนต์ 10 g ในน้ำกลั่น แล้วปรับให้มีปริมาตร 250 ml จากนั้นเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 500 ml และเขย่าให้เข้ากัน

6. สารละลายไตโซไซทอนเข้มข้น

- ละลายไตโซไซทอน 100 mg ด้วยคลอโรฟอร์ม 50 ml

- เทสารละลายลงในกรวยแยกขนาด 500 ml ล้างบีกเกอร์ด้วยคลอโรฟอร์มครั้งละ 5 ml จนไม่มีไตโซไซทอนเหลืออยู่

- เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (1+99) 100 ml เขย่าอย่างแรงประมาณ 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น

- ถ่ายชั้นคลอโรฟอร์มใส่กรวยแยกขนาด 250 ml จะเหลือชั้นน้ำสีส้มในกรวยแยก 1 แล้วสกัดซ้ำชั้นคลอโรฟอร์มในกรวยแยก 2 ซ้ำด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (1+99) 100 ml เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ่ายชั้นคลอโรฟอร์มใส่กรวยแยกขนาด 250 ml อีกใบ ถ่ายชั้นน้ำสีส้มในกรวยแยกกลางในกรวยแยก 1 และสกัดคลอโรฟอร์มในกรวยแยก 3 อีกครั้ง แล้วทิ้งชั้นคลอโรฟอร์มไป นำชั้นน้ำเทรวมกันในกรวยแยก 1

- เติมกรดไฮโดรคลอริก (1+1) 2 ml แล้วเขย่าให้เข้ากัน และเติมอีกจนกว่าจะตกตะกอนหมด คือ สารละลายไม่เป็นสีส้มอีกต่อไป (ได้น้ำใสมีตะกอนโคโรโซนสีเขียวตกอยู่)

- สกัดตะกอนโคโรโซนด้วยคลอโรฟอร์มครั้งละ 25 ml จนตะกอนละลายหมด แต่แต่ละครั้งทิ้งให้แยกชั้นแล้วถ่ายชั้นคลอโรฟอร์มโคโรโซนลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 ml ทุกครั้ง ทำจนกระทั่งตะกอนละลายหมด จากนั้นปรับให้ปริมาตร 1000 ml

7. สารละลายโคโรโซนพร้อมใช้

เจือจางสารละลายเข้มข้น 100 ml ด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 250 ml

8. สารละลายโคโรโซนพิเศษ

ละลายโคโรโซน 250 mg ในคลอโรฟอร์ม 250 ml

ก.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วให้มีความเข้มข้น 2 4 6 8 10 และ 12 ไมโครกรัม/ลิตร โดยเปิดสารละลายมาตรฐานตะกั่วพร้อมใช้มา 1 2 3 4 5 และ 6 ml แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 ml

2. เทสารละลายมาตรฐานตะกั่วแต่ละความเข้มข้นใส่ในกรวยแยกขนาด 250 ml เติมกรดไนตริก (1+4) อีก 20 ml เติมสารละลายซิงเตรดไฮยาไนตริคิวส์ซิง 50 ml เขย่าแล้วเติมสารละลายโคโรโซนพร้อมใช้ 10 ml เขย่าประมาณ 30 วินาที ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น (ชั้นคลอโรฟอร์มจะอยู่ด้านล่าง ชั้นน้ำจะอยู่ด้านบน)

3. ใส่น้ำสีบางๆที่ปลายกรวยแยก โขชั้นคลอโรฟอร์มผ่านสำลีทิ้ง 1 - 2 ml แรกไป เก็บชั้นคลอโรฟอร์มในหลอดทดสอบที่แห้ง สะอาด และทิ้งชั้นน้ำไป นำคลอโรฟอร์มที่ได้ไปวัด %T ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ใช้ในน้ำกลั่นเป็นแบลนด์ 100 ml แล้วเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นตะกั่ว (ไมโครกรัม) กับ %T โดยใช้กราฟ Semi log

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

(Atomic Absorption Spectroscopy , AAS) (แม้น และ อมร,2534)

เทคนิคทาง AAS เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ ความเที่ยง ความแม่นยำ มีสภาพไวสูงและเป็นเทคนิคที่เฉพาะดีมาก ประกอบกับค่าใช้จ่าย ในการวิเคราะห์ก็ไม่สูงนัก ดังนั้น ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ที่ทันสมัย โดยทั่วไปจะมี เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี โฟโตมิเตอร์อยู่ด้วยเสมอ ความสามารถของ เทคนิคนี้สูงมาก เพราะสามารถวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ได้ถึง 67 ธาตุ ซึ่งนับว่ามากพอควร สำหรับเครื่องมือเพียงอย่างเดียว ทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

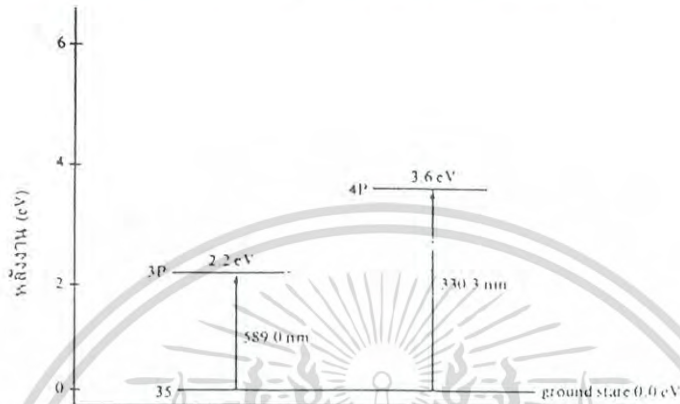
ปี ค.ศ. 1953 Walsh ได้สร้าง ความสนใจและแสดงให้ เห็นถึงประโยชน์และข้อดี ต่างๆ ของการใช้อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่ง ในขณะนั้นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ธาตุทางสเปกโทรสโกปี ได้แก่ เทคนิคคลอริเมตรี (colorimetry) และเทคนิคทางอะตอมมิกอิมิสชันสเปกโทรสโกปี (atomic emission spectroscopy) และ ในปี ค.ศ.1955 Walsh ได้พัฒนาเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (atomic emission spectroscopy) ขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์ ธาตุได้อย่างกว้างขวาง ช่วยทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น และได้เปรียบกว่าการใช้วิธีทางอะตอมมิกอิมิสชัน ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้อย่างมาก

1.หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชัน (Principles of Atomic Absorption)

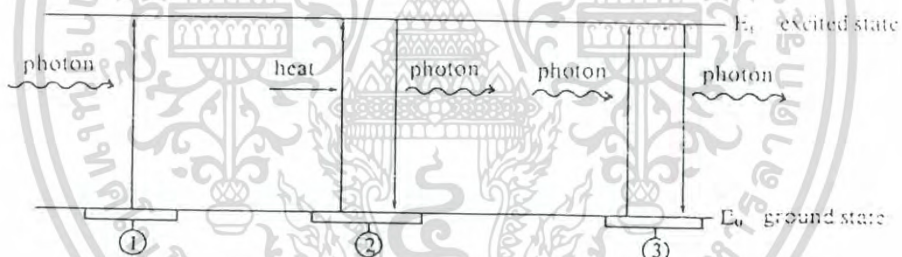
อะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นอันหนึ่ง โดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน เช่น อะตอมของโซเดียมจะดูดกลืนได้ดีที่ความยาวคลื่น 589 nm เพราะแสงที่มีความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของโซเดียมอะตอมเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้น ดังรูปที่ 1ซึ่งจะเห็นว่าความยาวคลื่นเหล่านี้จะเป็น spectroscopic line ของอะตอมมิกสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว (dissociation) หรือเปลี่ยนเป็นไอ (vaporization) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น หรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้



รูปที่ 1 ระดับพลังงานของอะตอมโซเดียม (Na^{23}) ($1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^1$)



รูปที่ 2 แสดง transition diagram สำหรับ

1. อะตอมมิกแอปซอร์พชัน
2. อะตอมมิกอิมิสชัน
3. อะตอมมิกฟลูออเรสเซนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดอะตอมมิกแอบซอร์พชันอิมิสชันและฟลูออเรสเซนซ์นั้นมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นการเกิดทรานซิชันจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก (first excited state) มีด้วยกัน 3 แบบ คือ

แบบที่ 1 เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก โดยการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนเป็นอะตอมมิกแอบซอร์พชัน

แบบที่ 2 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากความร้อน ทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก แล้วปล่อยพลังงานออกมา เมื่อกลับสู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนออกมาเรียกว่าอะตอมมิกแอบซอร์พชัน

แบบที่ 3 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากโฟตอนที่มาจากสเปกตรัมทำให้เปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้น เมื่อกลับมาสู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนออกมาเรียกว่าเป็นการเกิดอะตอมมิกฟลูออเรสเซนซ์

จากกระบวนการที่สารประกอบแตกตัวเป็นอะตอมแล้วกลายเป็นไอ หรือเกิดการควบแน่น หรือแม้แต่วัสดุแตกตัวเป็นไอออนด้วยพลังงานความร้อนเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะของThermal equilibrium จำนวนอะตอมที่อยู่ในสภาวะกระตุ้น (N_j) ที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยากับจำนวนอะตอมที่อยู่ในสถานะพื้นต่อหน่วยปริมาตร (N_0) ดังนั้น N_0 ก็เกิดปฏิกิริยาโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย Boltzmann ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของ N_j กับ N_0 ดังแสดงในสมการที่ 1

$$N_j/N_0 = g_j/g_0 e^{-\Delta E/kT} \quad \text{----- 1}$$

N_j และ N_0 = จำนวนอะตอมของธาตุที่อยู่ในสถานะกระตุ้นและสถานะพื้น

g_j และ g_0 = statistical weight ของสถานะกระตุ้นและสถานะพื้น ซึ่งบอกถึงจำนวนสถานะของอิเล็กตรอนที่มีพลังงานเท่ากันของแต่ละระดับควอนตัม

$\Delta E = h\nu = E_j - E_0$ = ระดับพลังงานที่แตกต่างกันระหว่างสถานะกระตุ้นและสถานะพื้น

k = Boltzmann constant = 1.38×10^{-16} erg/deg.

T = อุณหภูมิในหน่วยขององศาสัมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จะเห็นว่า N_j/N_0 จะมีค่ามากเมื่อ T สูงขึ้น และ ΔE น้อย
 และ N_j/N_0 จะมีค่าน้อยเมื่อ T ต่ำ และ ΔE มาก
 ความสัมพันธ์ของ N_j/N_0 ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตาราง 1 แสดงความสัมพันธ์ของ N_j / N_0 ที่อุณหภูมิ 2000 K และ 3000 K

ธาตุ	Resonance line (nm)	g_j/g_0	ΔE (ev)	N_j/N_0	
				2000 K	3000 K
Na	589.0	2	2.10	9.86×10^{-6}	5.88×10^{-4}
Ca	422.7	3	2.93	1.21×10^{-7}	3.69×10^{-5}
Cu	324.8	2	3.82	4.82×10^{-10}	6.65×10^{-7}
Mg	285.2	3	4.35	3.35×10^{-11}	1.50×10^{-7}
Zn	213.9	3	5.80	7.45×10^{-15}	5.50×10^{-10}

จากตารางข้างบนนี้จะเห็นได้ว่า จำนวนอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น ซึ่งเป็นแหล่งที่จะให้อิมิตชันออกมาในการศึกษาทางอิมิตชันสเปกโทรสโกปีนั้น มีน้อยกว่าจำนวนอะตอมของธาตุที่อยู่ในสถานะพื้นมากๆ นี่เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีได้รับความนิยม และมีข้อได้เปรียบกว่า เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ทั้งในเชิง sensitivity และ detection limit เพราะการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของธาตุที่มีมากๆ ย่อมจะง่ายกว่าการตรวจและวัดกว่าธาตุที่มีปริมาณน้อยๆ นั่นคือ วัดปริมาณ N_0 ย่อมง่ายกว่าวัด N_j นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าค่า ΔE ของธาตุต่างๆ ยังแตกต่างกันด้วย ซึ่งค่า ΔE นี้บอกให้ทราบว่าธาตุบางธาตุถูกกระตุ้นง่าย Cu และ Zn อุณหภูมิที่ใช้ก็มีส่วนสำคัญในการจะทำให้เกิดอะตอมเสรี แต่จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิของเปลวไฟ 3000 K จะเปลี่ยนอะตอมเสรีให้เป็นอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้นได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 2000 K

สำหรับค่า g_j และ g_0 เป็น statistical weight ซึ่งหมายถึงความน่าจะเป็น (probability) ที่อิเล็กตรอนจะอยู่ในระดับพลังงานที่กำหนดให้ และสามารถหาได้จาก การคำนวณทางกลศาสตร์ควอนตัม (quantum mechanics) ในสมการ 1 สามารถคำนวณหาค่า N_j/N_0 ที่อุณหภูมิใดๆ ที่กำหนดให้ได้ เมื่อทราบความถี่หรือความยาวคลื่นที่ธาตุจะเกิดทรานซิชัน ดังแสดงในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Statistical weight หาได้จาก $g = 2J + 1$

----- 2

- เมื่อ $J =$ Russell-Saunders coupling
 $J = L + S$ หรือ $L - S$
 $L =$ total orbital angular momentum number
 $= 0, 1, 2, 3$
 $S =$ spin quantum number $= \pm 1/2$

โดยทั่วไปจะเขียนอยู่ในรูป $N^M Lg$

$N =$ principal quantum number

$M =$ multiplicity

เช่น การเกิดแตรอนชิชันของ Cs 852.1 nm เป็นการเกิดจาก

$$2_{P_{3/2}} \rightarrow 1_{S_{1/2}} \text{ และ } g_1/g_0 = [2^{(3/2)} + 1 / 2^{(1/2)} + 1] \\ = 4/2 = 2$$

อะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น (N_1) เมื่อกลับมาอยู่ในสถานะพื้น (N_0) จะให้โฟตอนออกมา โดยมีความเข้มของ emission lines (I_V) หาได้จาก

$$I_V = V \cdot A_{\nu} \cdot h \nu N_1 (g_1/g_0) e^{-\Delta E/kT} \quad \text{----- 3}$$

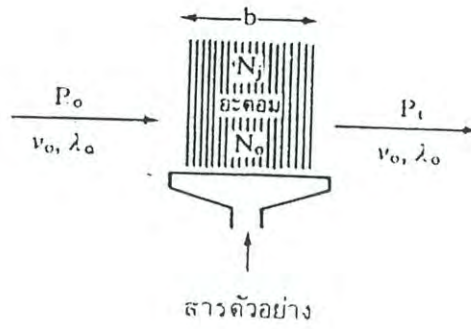
เมื่อ $V =$ ปริมาตรของเปลวไฟที่เห็น โดยดีเทคเตอร์

$A_{\nu} =$ Einstein probability coefficient ในการเกิดแตรอนชิชันจาก

$E_1 \rightarrow E_0$ ต่อหน่วยเวลา โดยมีการให้โฟตอนออกมา

จากสมการนี้ จะเห็นได้ว่าความเข้มของเส้นสเปกตรัมที่เปล่งออกมาเป็นฟังก์ชันกับ ΔE และ T ในทำนองเดียวกันอะตอมที่อยู่ในสถานะพื้น (N_0) ก็เกิดแตรอนชิชันจาก $E_0 \rightarrow E_1$ โดยดูดกลืนพลังงานที่ความถี่เท่ากับ resonance frequency และ hollow cathode lamp ที่ผ่านเข้าไปในเปลวไฟ ซึ่งมีอะตอมของธาตุที่ต้องการหาอยู่ ปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นไปตาม absorption law

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$P_t = P_0 e^{-knb}$$

P_0 = radiant power เริ่มต้น

P_t = radiant power ที่ผ่าน

K = สัมประสิทธิ์การดูดกลืน (absorption coefficient) ซึ่งขึ้น
กับ λ หรือ ν

b = ความกว้างของเปลวไฟ หรือ absorbing medium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตาราง 1 ก. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน
อุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม (ธงชัย และ วิบูลย์ลักษณ์, 2540)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5 – 9.0
ทีดีเอส (Tissolvental Dd Solids)	ไม่เกิน 3000 mg/L หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของ โรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุม มลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 5000 mg/L น้ำทิ้งที่ระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็มเกิน 2000 mg/L หรือล่งสู่ทะเล ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมี ค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือ ทะเลได้อีกไม่เกิน 5000 mg/L
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 mg/L หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่ง รองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม— กรรมหรือ ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้อง ไม่เกิน 150 mg/L
อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
สีและกลิ่น (Color and Odor)	มีหรือระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะแล้ว ไม่เป็นที่ พึงรังเกียจ
ซัลไฟด์ (Sulfide)	ไม่เกิน 1 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ค. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงาน
อุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease)	ไม่เกิน 5 mg/L อาจแตกต่างกันได้แต่แหล่งรองรับ น้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่ เกิน 15 mg/L
ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1 mg/L
สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1 mg/L
คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1 mg/L
สารที่ใช้ป้องกันหรือ กำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 mg/L หรืออาจแตกต่างกันได้แต่แหล่งรับ น้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่ เกิน 60 mg/L
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)	ไม่เกิน 100 mg/L หรืออาจแตกต่างกันได้แต่แหล่ง รองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสม ควร แต่ต้องไม่เกิน 200 mg/L
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 mg/L หรืออาจแตกต่างกันได้แต่ แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน อุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 400 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ค. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน
อุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
โลหะหนัก (Heavy Metal)	
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 50 mg/L
โครเมียม (Cr)	
Hexavalent	ไม่เกิน 0.25 mg/L
Trivalent	ไม่เกิน 0.75 mg/L
อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 mg/L
ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 mg/L
ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 mg/L
แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 mg/L
แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 mg/L
เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 mg/L
ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 mg/L
นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 mg/L
แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 mg/l

หมายเหตุ :

1. มาตรฐานนี้ได้ประกาศเป็นประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539
2. mg/L หมายถึง มิลลิกรัมต่อลิตร
3. โรงงานอุตสาหกรรม หมายความว่า โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน
4. นิคมอุตสาหกรรม หมายความว่า นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยนิคมอุตสาหกรรม หรือโครงการที่จัดไว้สำหรับการประกอบการอุตสาหกรรมที่มีการจัดการระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมร่วมกัน
5. น้ำเสีย หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปน หรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการ โรงงานอุตสาหกรรม หรือนิคมอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้ความหมายรวมถึง น้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศ
7. โรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 2 และ 3 ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 และนิคมอุตสาหกรรม ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการควบคุมมลพิษ เมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2537 ให้กำหนดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมตามมาตรา 69 ของพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

การคำนวณปริมาตรของตัวดูดซับในคอลัมน์

ค่าปริมาตรบรรจุในคอลัมน์ (BV) สามารถคำนวณได้ดังนี้

Bed Volume (BV) = ปริมาตรของตัวดูดซับในคอลัมน์

$$\text{Bed Volume} = \frac{(\pi d^2 h)}{4} \quad (\text{cm}^3)$$

เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในคอลัมน์ (cm)

h = ความสูงของตัวดูดซับในคอลัมน์ (cm)

การคำนวณ

จากการทดลองคอลัมน์ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (d) 2 เซนติเมตร

ความสูงของตัวดูดซับ 2 เซนติเมตร

$$\text{BV} = \frac{(\pi 2^2 \times 2)}{4} \quad \text{cm}^3$$

$$1 \text{ BV} = 6.28 \quad \text{cm}^3$$

กำหนดให้ t_r คือ อายุการใช้งานของตัวดูดซับที่ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีตะกั่ว

ไม่เกิน 0.2 mg/l (ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย)

จากตาราง จะเห็นว่าในระหว่างชั่วโมงที่ 2 กับชั่วโมงที่ 3 คอลัมน์สามารถบำบัดน้ำทิ้งได้

โดยมีตะกั่วไม่เกินค่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

เวลา (นาทื)	ปริมาตรน้ำ (ลิตร)	ปริมาตรน้ำ (BV)	ความเข้มข้นตะกั่ว (mg/L)	%(C/Co)
60	1.2	191.08	0.00	0.00
120	2.4	382.17	0.00	0.00
180	3.6	573.25	0.27	1.80
240	4.8	764.33	0.72	4.80
300	6.0	955.41	0.83	5.53
360	7.2	1146.50	2.12	14.13
420	8.4	1337.58	2.32	15.46
480	9.6	1528.66	3.94	26.27
540	10.8	1719.75	4.30	28.67
600	12.0	1910.83	4.55	30.33
660	13.2	2101.91	5.33	35.53
720	14.4	2292.99	5.58	37.20
780	15.6	2484.08	5.74	38.27
840	16.8	2675.16	6.43	42.87
900	18.0	2866.24	8.07	53.80
960	19.2	3057.32	8.26	55.06
1020	20.4	3248.41	9.14	60.93
1080	21.6	3439.49	10.72	71.46
1140	22.8	3630.57	10.74	71.60
1200	24.0	3821.66	10.76	71.73
1260	25.2	4012.74	10.77	71.80
1320	26.4	4203.82	10.82	72.13
1380	27.6	4394.90	10.85	72.33
1440	28.8	4585.99	10.92	72.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

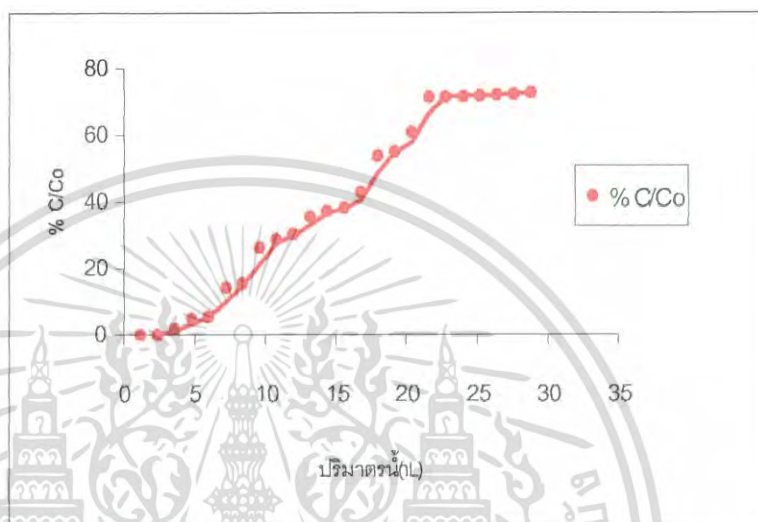
ค่าความเข้มข้นต่างกัน 0.27 mg/l ทำให้ปริมาตรน้ำเปลี่ยนไป 191.08 BV
 ค่าความเข้มข้นต่างกัน 0.20 mg/l ทำให้ปริมาตรน้ำเปลี่ยนไป $\frac{0.20 \times 191.08}{0.27}$ BV
 ดังนั้นจะทำให้ปริมาตรน้ำเปลี่ยนไปเท่ากับ 140.80 BV
 เพราะฉะนั้น t_1 จะมีค่า $382.17 + 140.80 = 522.97$ BV



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวก จ.

ตัวอย่างการคำนวณความสามารถในการดูดซับแบบต่อเนื่อง



รูปแสดงตัวอย่างการคำนวณความสามารถการดูดซับแบบต่อเนื่อง

การคำนวณ

Adsorption Capacity

=

พื้นที่เหนือเส้นกราฟ

=

$1/2 \times 28.8 \text{ ลิตร} \times (72.80/100)$

=

$10.48 \text{ ลิตร} \times 15 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$

=

157.20 มิลลิกรัม

เพราะฉะนั้น Adsorption Capacity มีค่าเท่ากับ 157.20 มิลลิกรัม

ดังนั้นปริมาตรคอลัมน์ 6.28 มิลลิลิตร มีความสามารถดูดซับตะกั่วได้ 157.20 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้