

การดูฉบับทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลายจากกากตะกอนโดยใช้ไอโซซาน



เลขหม.....
เลขทะเบียน...43899
วัน, เดือน, ปี 17 ต.ค. 2545

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

โครงการพิเศษที่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Adsorption of Copper and Cadmium in leachate from sludge using Chitosan



**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

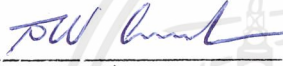
2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การดูแลสุขภาพและแคเมียมในน้ำชะละลายจากกากตะกอนโดยใช้
โคโคซาน
โดย นางสาวชุติมา สันหมักดี
นางสาวพรพิมล พัดภู
ภาควิชา เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา คร. ชมพูนุท ไชยรักษ์


ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ลายเซ็น

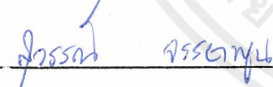

(ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาค


คณะกรรมการ โครงการพิเศษ


(อ. ยุพา ตันทวี)

ประธานกรรมการ


(ดร. สุวรรณีย์ จรรยาพูน)

กรรมการ


(ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การดูดซับทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลายจากกากตะกอน โดยใช้ไคโตซาน	
นักศึกษา	นางสาวชุตินา	สัณห์ภักดี
	นางสาวพรพิมล	พัคภู
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ชมพูนุท	ไชยรักษ์
ภาควิชา	เคมี	
ปีการศึกษา	2544	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับทองแดง และแคดเมียมในน้ำชะละลายจากกากตะกอนโดยใช้ไคโตซาน ทองแดงและแคดเมียมถูกชะจากกากตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะด้วยสารสกัดด้วย อีดีทีเอ (EDTA) 0.01 โมลาร์ ปรับพีเอชเป็น 6.0 นำมาเจือ 300 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดงและแคดเมียมมีค่า 65.78 และ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดงและแคดเมียม โดยทำการแปรผัน pH ดังนี้คือ 3 4 5 6 7 8 9 และ 10 พบว่า pH ที่เหมาะสมคือ 8 ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงและแคดเมียมได้ 47.49 % และ 39.92 % ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการแปรผันปริมาณไคโตซานดังนี้คือ 0.12 0.24 0.36 0.48 0.60 และ 0.72 กรัม พบว่า ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมคือ 0.48 กรัม ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงและแคดเมียมได้ 54.24 % และ 44.79 % ตามลำดับ ต่อมาทำการแปรผันเวลาสัมผัสในการดูดซับดังนี้คือ 0 3 6 12 18 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่าเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับคือ 12 ชั่วโมง เมื่อทำการกำจัดทองแดงและแคดเมียมโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมและทำการเจือพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงและแคดเมียมคือ 60.24 % และ 42.98 % ตามลำดับ เมื่อทำการกำจัดโดยใช้สภาวะเหมาะสม และไม่เจือสารละลาย พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงและแคดเมียมคือ 56.71 และ 30.30% ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดเมื่อเจือดีกว่าเมื่อไม่เจือ และเมื่อแปรผันจำนวนรอบในการเติมไคโตซานเป็น 1 2 3 และ 4 รอบ พบว่าจำนวนรอบที่เหมาะสมในการเติมไคโตซานคือ 4 รอบ ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงและแคดเมียมได้ 95.38 และ 82.30% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Adsorption of Copper and Cadmium in leachate from sludge using Chitosan
Name	Miss Chutima sunhapakdee Miss Pronpimol patpu
Special Project Advisor	Dr. Chompoonut Chaiyaraksa
Department	Chemistry
Academic Year	2001

Abstract

In this special project , an adsorption of Copper and Cadmium in leachate from a sludge using chitosan was studied. Copper and Cadmium were removed from the sludge contaminated with metals by extraction with 0.01 M. EDTA. At pH 6 and shaking the solution at 300 rpm for 24 hrs. It was found that the initial concentration of Copper and Cadmium in the sludge were 65.78 and 1.09 mg/L, respectively. For studying the optimum condition to remove Copper and Cadmium , pH was varied as followed 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8 , 9 and 10 pH was found to be the optimum pH. By using pH 8 , the efficiency to remove Copper and Cadmium were 47.49 % and 39.92 % , respectively. After that the amount of chitosan was varied as followed 0.12 , 0.24 , 0.36 , 0.48 , 0.60 and 0.72 g . It was found that 0.48 g was the optimum amount of chitosan . There adsorption time was varied as followed 0 , 3 , 6 , 12 , 18 , 24 and 48 hrs. It was found that the optimum time was 12 hr . By using those optimum condition and shaking the solution to remove Copper and Cadmium , the efficiency to remove Copper and Cadmium were 60.24 % and 42.98 % , respectively . By using those optimum condition and without shaking the solution , the efficiency to remove Copper and Cadmium were 56.71 % and 30.30 % , respectively . The efficiency to removal when shaking the solution was higher than when no shaking the solution. And number of cycle to add chitosan was varied as followed 1 , 2 , 3 and 4 . the optimum cycle was found to be 4 . The efficiency to remove Copper and Cadmium when using 4 cycle were 95.38 % and 82.30 % , respectively .

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษา และแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่ดีในช่วงการทำโครงการพิเศษตลอดมา จาก ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ยุพา ตันทวี และ ดร. สุวรรณิ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการสอบโครงการพิเศษ พร้อมกับให้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะ ตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี เครื่องมือ ให้คำแนะนำ และสถานที่สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณพี่สุรินทร์ ที่ได้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการใช้เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Adsorption Spectrophotometer) จนทำให้เพิ่มทักษะในการใช้เครื่องมือ ได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และบุคคลในครอบครัวที่ให้ความรัก ความเข้าใจ และเป็นกำลังใจตลอดจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งขอบใจเพื่อนๆ ในสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาที่ดีตลอดการทำโครงการพิเศษฉบับนี้

ชุตินา สันท์ภักดี
พรพิมล พัดภู

มีนาคม พ.ศ. 2545

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 โลหะหนัก	4
2.2 วิธีการกำจัดโลหะหนักออกจากกากตะกอน	10
2.2.1 การชะทางชีวภาพ (biological leaching)	10
2.2.2 การใช้โอโซน (Ozone)	11
2.2.3 การใช้น้ำ	11
2.2.4 การชะด้วยสารเคมี (Chemical leaching)	11
2.3 การชะด้วยสารเคมี	.11
2.4 Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)	16
2.5 วิธีการกำจัดโลหะหนักจากน้ำชะละลาย	23
2.5.1 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)	23
2.5.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)	25
2.5.3 การออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis)	26
2.5.4 การระเหย (Evaporation)	27
2.5.5 อิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis)	27
2.5.5 การสกัดกับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery)	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		จ
	2.5.7 การดูดซับ (Adsorption)	27
2.6	การดูดซับ	28
	2.6.1 หลักการ	28
	2.6.2 กลไกการดูดซับและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecule Transfer)	29
	2.6.2.1 กลไกการดูดซับ	29
	2.6.2.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecule Transfer)	30
	2.6.3 การดูดซับที่สภาวะสมดุล (Adsorption Equilibria)	31
	2.6.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์	32
	2.6.3.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ บี อี ที	33
	2.6.3.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช	34
	2.6.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ	35
	2.6.4.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของการดูดซับ	35
	2.6.4.2 ลักษณะของสารถูกดูดซับ	36
	2.6.4.3 อัตราเร่งของการปั่นกววน	36
	2.6.4.4 เวลาสัมผัส	36
	2.6.4.5 ค่าพีเอช	37
2.7	โคโคซาน	37
	2.7.1 แหล่งที่พบ	37
	2.7.2 โครงสร้างทางเคมีของโคโคซาน	37
	2.7.3 คุณสมบัติของโคโคซาน	38
	2.7.4 การนำโคโคซานมาใช้ประโยชน์	40
	2.7.5 สมบัติพิเศษของโคโคซาน	41
	2.7.5.1 ลิแกนค์	42
	2.7.5.2 สารประกอบเชิงซ้อนคีเลต	43
	2.7.5.3 ลักษณะการจับของลิแกนค์บนโครงสร้างของพอลิเมอร์	44
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	48
บทที่ 3	การวิจัยและการดำเนินการ	51
	3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	51
	3.2 การดำเนินงานวิจัย	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1	ศึกษาปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำชะละลายจากกากตะกอน	52
3.2.2	ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนโลหะของไคโตซาน	53
3.2.2.1	การศึกษาค่าพีเอชของ น้ำชะละลาย (Leachate)	53
3.2.2.2	ศึกษาปริมาณ ไคโตซานที่เหมาะสม	54
3.2.2.3	ศึกษาเวลาที่เหมาะสม	55
3.2.2.4	ศึกษาจำนวนรอบของการเติมไคโตซาน	56
บทที่ 4	ผลการวิจัยและวิจารณ์	57
4.1	ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม และทองแดงในน้ำชะละลายจากกากตะกอน	57
4.2	ผลการศึกษาการดูดซับแคดเมียมและทองแดงในน้ำชะละลาย	58
4.2.1	ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม และทองแดง	58
4.2.1.1	ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง ในน้ำชะละลาย	59
4.2.1.2	ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม ในน้ำชะละลาย	60
4.2.2	ผลการศึกษาปริมาณ ไคโตซานที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม และทองแดง	63
4.2.2.1	ผลการศึกษาปริมาณ ไคโตซานที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง ในน้ำชะละลาย	64
4.2.2.2	ผลการศึกษาปริมาณ ไคโตซานที่เหมาะสมในการดูดซับ แคดเมียมในน้ำชะละลาย	64
4.2.3	ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม และทองแดง	65
4.2.3.1	ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง ในน้ำชะละลาย	67
4.2.3.2	ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม ในน้ำชะละลาย	67
4.2.4	ผลการศึกษาการเติมไคโตซานเป็นจำนวน 4 รอบ ในการดูดซับแคดเมียม และทองแดง	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	๗
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	71
5.1 สรุปผลการการศึกษา	71
5.2 ข้อเสนอแนะ	72
ภาคผนวก	73
บรรณานุกรม	98



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ปริมาณของเสียอันตราย แยกตามประเภทและปี	2
ตารางที่ 2.1 ชนิดของโลหะหนักที่พบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ (Dean et al. 1972)	5
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของคีเลตติ้งเอเจนต์ (chelating Agent)	14
ตารางที่ 2.3 แสดงชนิดของคีเลตติ้งเอเจนต์ (chelating agent)	15
ตารางที่ 2.4 แสดงตารางค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนที่ 25 องศาเซลเซียส	16
ตารางที่ 2.5 แสดงค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อน สำหรับ EDTA	20
ตารางที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะในน้ำชะละลาย	57
ตารางที่ 4.2 แสดงรัศมีโลหะ ไอออนและความหนาแน่นประจุ	62
ตารางที่ ก.1 การศึกษาปริมาณของ Cd และ Cu ที่ปนเปื้อนในน้ำชะละลาย	74
ตารางที่ ก.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่าพีเอชของน้ำชะละลาย	75
ตารางที่ ก.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่าปริมาณไคโตซาน	77
ตารางที่ ก.4 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่าเวลาเขย่า	79
ตารางที่ ก.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่าเวลา (ไม่เขย่า)	81
ตารางที่ ก.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดย การเติมไคโตซาน	83

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของ EDTA	17
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของ EDTA (double zwitterions)	17
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของ EDTA (hexadentate ligand)	18
รูปที่ 2.4 แสดงไอออนเชิงซ้อนของ EDTA กับ ไอออนของโลหะไดวาเลนต์ (divalent metal ion)	19
รูปที่ 2.5 แสดงไอออนเชิงซ้อนของ EDTA กับทองแดงและแคดเมียม	19
รูปที่ 2.6 องค์ประกอบของสารละลาย EDTA ที่ pH ต่างๆ	21
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของสารละลายกับความสามารถในการ ละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ และ โลหะซัลไฟด์	24
รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	30
รูปที่ 2.9 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน (Faust and Aly. 1987)	31
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงการหาค่าคงที่ในสมการไอโซเทอมแบบต่างๆ	35
รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของโคโคซาน	38
รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของสารเชิงซ้อน โคออดิเนชัน	42
รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่าง โครงสร้างของลิแกนด์ที่พบได้ทั่วไป	43
รูปที่ 2.14 แสดง โครงสร้างของ ไอออนเชิงซ้อน $[Co(en)_3]^{3+}$	44
รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะของลิแกนด์ที่มีหลายหมู่ฟังก์ชัน	45
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของลิแกนด์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเดียวกันบน โครงร่างตาข่าย หลายตำแหน่ง	45
รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะลิแกนด์ที่มีหมู่ฟังก์ชันดูดซับไว้ใน โครงร่างตาข่ายหลายตำแหน่ง	45
รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะการจับ ไอออนโลหะภายในสายโซ่	46
รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะการจับ ไอออนโลหะระหว่างสายโซ่	46
รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะการจับ ไอออนโลหะในลักษณะสะพานเชื่อมโยง	46
รูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างของสารเชิงซ้อนของโลหะ	47
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง และแคดเมียมกับค่าพีเอช ต่างๆกันเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นทองแดงและแคดเมียมเท่ากับ 65.78 และ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร	58
รูปที่ 4.2 แสดงโคอะแกรมของ Cadmium Hydroxy Species ที่ค่าพีเอชต่างๆ	61
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง และแคดเมียมกับปริมาณ โคโคซานต่างๆ กันเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นทองแดงและแคดเมียมเท่ากับ 65.78	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร	63
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง และแคดเมียมกับเวลาสัมผัส ต่างๆ กัน (เขย่า)	66
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง และแคดเมียมกับเวลาสัมผัส ต่างๆ กัน (ไม่เขย่า)	66
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง และแคดเมียม และจำนวนรอบใน การเติมโคโคซาน	69
รูปที่ ค.1 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของทองแดง (Cu^{2+})	89
รูปที่ ค.2 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของแคดเมียม (Cd^{2+})	90
รูปที่ ง.1 แสดงระบบบำบัดทางฟิสิกส์-เคมีสำหรับ โรงงานชุบโลหะ	92
รูปที่ ง.2 แสดงระบบบำบัดทางฟิสิกส์-เคมี สำหรับน้ำเสียสำหรับน้ำเสียจากการย้อมสี	93
รูปที่ ง.3 แสดงการบำบัด Solid waste	93
รูปที่ ง.4 แสดงขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ	95
รูปที่ ง.5 แสดงขั้นตอนการกำจัดกากสารพิษ	97

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันปัญหาโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม ฯลฯ ยังคงมีแนวโน้มว่าจะก่อมลพิษทางสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดน้ำเสียและดินที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก รวมทั้งเกิดกากตะกอนโลหะหนักขึ้น โดยโลหะหนักแต่ละชนิดจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นและเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ทางห่วงโซ่อาหาร ทำให้เกิดภาวะที่ผิดปกติไปจากธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากการศึกษาปริมาณของเสียที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทั่วประเทศไทยโดยบริษัท Engineering Science ซึ่งได้คาดการณ์ไว้ใน National Hazardous Waste Management Plan (พ.ศ.2532) ว่าในปี พ.ศ. 2544 จะมีของเสียอันตรายเกิดขึ้นประมาณ 2.8 ล้านตัน ดังแสดงในตารางที่ 1.1 และของเสียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของกากตะกอนและของแข็งที่เป็นสารโลหะหนัก เนื่องจากประเทศไทยเราเป็นประเทศกำลังพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม โดยโรงงานอุตสาหกรรมต่างชนิดกันก็ปล่อยน้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักก็จะเกิดการรวมตัวในรูปของตะกอน และจำเป็นต้องนำไปฝังกลบให้ถูกต้องตามหลักวิชาการต่อไป เพราะหากไม่มีการควบคุมหรือการจัดการที่ดีแล้วสารพิษเหล่านี้ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ต่อไปอีกในอนาคต

กระบวนการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกากตะกอนสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การบำบัดด้วยความร้อน (Heat treatment) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) และการชะด้วยสารเคมี (Chemical leaching) วิธีที่ใช้กันมาก คือ การชะด้วยสารสกัดที่เป็นสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ ทำให้สามารถชะโลหะออกจากอนุภาคกากตะกอนซึ่งมีพันธะจับกันแน่นในรูปของน้ำชะละลาย (leachate) ได้ สารสกัดที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น EDTA , Cyclodextrin , citric acid และกรดอนินทรีย์ เช่น HCl และ HNO₃ (Wasay ,1998) ส่วนงานวิจัยนี้ใช้ EDTA เพื่อชะโลหะหนักออกจากสลัดจ์ เพราะสามารถชะโลหะออกจากดินได้ประมาณ 90 % (Wasay และคณะ1999)

กระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำชะละลายนั้นมีหลายหลายวิธี ได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) การใช้กระบวนการ

การกรองผ่านเมมเบรน (Membrane) การออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis) และการสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery) เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้สามารถกำจัดโลหะหนักได้ผลดี แต่มีข้อจำกัดเพราะมีประสิทธิภาพต่ำในการกำจัดโลหะที่มีความเข้มข้นของโลหะต่ำๆ จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการใช้สารดูดซับ เช่น ไคโตซาน เพื่อดูดซับโลหะที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ กัน ในระดับ ppm หรือ ppb ได้ มีความเป็นพิษต่ำ หาได้ง่าย ราคาถูก รวมทั้งเนื่องจากไคโตซานมีการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียอยู่แล้ว (Deans R.J., 1992) แต่ยังไม่พบว่ามีการนำมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำชะละลายจากกากตะกอน งานวิจัยนี้จึงนำไคโตซานมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำชะละลายจากกากตะกอน

ตารางที่ 1.1 ปริมาณของเสียอันตรายแยกตามประเภทและปี

ประเภทของเสีย	ปริมาณของเสียอันตราย (ตัน/ปี)		
	2534	2539	2544
น้ำมัน	188,254	332,779	589,508
กากสารอินทรีย์เหลว	311	522	876
ตะกอนและของแข็งสารอินทรีย์	6,674	11,951	21,533
ตะกอนและของแข็งสารอนินทรีย์	19,163	31,850	53,696
ตะกอนและของแข็งโลหะหนัก	536,322	946,565	1,658,192
ตัวทำละลาย	36,163	66,532	124,306
ของเสียเป็นกรด	31,432	53,793	96,105
ของเสียเป็นด่าง	9,839	16,846	29,019
ผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน	25	52	107
พีซีบี (PCB)	*	*	*
กากสารอินทรีย์น้ำ	242	499	1037
น้ำเสียล้างอัดรูป	16,348	30,398	57,809
ขยะชุมชน	11,787	19,090	31,093
ขยะติดเชื้อ	76,078	123,219	200,699
รวม	932,638	1,634,104	2,813,980

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.ศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง และแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำชะละลาย
- 2.ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง และแคดเมียมของไคโตซาน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. นำกากตะกอนจากบริษัท Genco มาชะด้วย EDTA ได้น้ำชะละลาย แล้วหาความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง และแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำชะละลายด้วยเครื่อง Atomic Adsorption Spectrophotometer (AAS)

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง และแคดเมียมของไคโตซาน

2.1 ศึกษาค่าพีเอชของน้ำชะละลายที่เหมาะสมโดยแปรค่าพีเอชเป็น 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับ ใช้ ปริมาณไคโตซานเป็น 0.5 กรัม และ เวลาในการเขย่าเป็น 24 ชั่วโมง แล้วหา % ทองแดง และแคดเมียมที่ถูกกำจัดออกจากน้ำชะละลายโดยใช้เครื่อง Atomic Adsorption Spectrophotometer AAS

2.2 ศึกษาปริมาณไคโตซานที่เหมาะสม โดยแปรค่าปริมาณไคโตซานเป็น 0.06 , 0.12 , 0.24 , 0.36 , 0.48 และ 0.6 ตามลำดับ ปรับ pH ของน้ำชะละลายที่เหมาะสมจากขอบเขตข้อ 2.1 และใช้เวลาเขย่า 24 ชั่วโมง แล้วหา % ทองแดง และแคดเมียมที่ถูกกำจัดออกจากน้ำชะละลายโดยใช้ เครื่อง Atomic Adsorption Spectrophotometer (AAS)

2.3 ศึกษาผลของเวลาที่เหมาะสมโดยแปรค่าเวลาเป็น 0 , 3 , 6 , 12 , 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ปรับ pH ของน้ำชะละลายที่เหมาะสมจากขอบเขตข้อ 2.1 และ ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมจากขอบเขตข้อ 2.2 แล้วหา % ทองแดง และแคดเมียม ที่ถูกกำจัดออกจากน้ำชะละลายโดยใช้ เครื่อง Atomic Adsorption Spectrophotometer (AAS)

2.4 ศึกษาจำนวนรอบของการเติมไคโตซานเป็น 1 , 2 , 3 และ 4 รอบ ลำดับ ปรับ pH ของน้ำชะละลายที่เหมาะสมจากขอบเขตข้อ 2.1 ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมจากขอบเขตข้อ 2.2 และ เวลาที่เหมาะสมจากขอบเขตข้อ 2.3 โดยแต่ละรอบนำมาวิเคราะห์ % ทองแดง และแคดเมียม ที่ถูกกำจัดออกจากน้ำชะละลายโดยใช้ เครื่อง Atomic Adsorption Spectrophotometer (AAS)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง และแคดเมียมของไคโตซาน
- 2.ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำไคโตซานมาใช้ในการดูดซับทองแดง และแคดเมียมในน้ำชะละลายจากสลักจี้ได้
- 3.ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำไคโตซานมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับโลหะอื่น ๆ ในน้ำชะละลายจากสลักจี้ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียมปรอท ทองแดง นิกเกิล เป็นต้น โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติโลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญ คือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่น เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ

โลหะหนักสามารถจัดแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มโลหะที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงมาก ได้แก่ As, Au, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Sb, Sn, Te และ Zn และกลุ่มโลหะที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงรองลงมา ได้แก่ Ba, Bi, Fe, Mo, Ti และ U (Culp และ Culp, 1974)

ความเป็นพิษของโลหะเหล่านี้ เป็นผลเนื่องมาจากที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณที่ต่างๆ กัน แล้วก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายนั่นเอง แหล่งที่มาของโลหะเหล่านี้ก็คือ จากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ดังตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของโลหะหนักที่พบในอุตสาหกรรมต่างๆ จากนั้นจึงเกิดการปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมในดิน น้ำ อากาศ และผลิตทางการเกษตร เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ และมีผลกระทบต่อเมตาโบลิซึมของเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

ตารางที่ 2.1 ชนิดของโลหะหนักที่พบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ (Dean, 1972)

Type of Industries	Al	Ag	As	Cd	Cr	Cu	F	Fe	Hg	Mn	Pb	Ni	Sb	Sn	Zn
Pulp, paper mills, paperboard, building paper, board mills					•	•			•		•	•			•
Organic chemicals, petrochemicals	•		•	•	•		•	•	•		•			•	•
Alkalis, chlorine, inorganic chemicals	•		•	•	•		•	•	•		•			•	•
Fertilizers	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•
Petroleum refining	•		•	•	•	•	•	•			•	•			•
Basic steel works, foundries			•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
Basic non-ferrous metals-works, foundries	•	•	•	•	•	•	•		•		•		•		•
Motor vehicles, aircraft-plating, finishing	•	•		•	•	•			•			•			
Flat glass, cement, asbestos products, etc.					•										
Textile mill products					•										
Leather tanning, finishing					•										
Steam generation power plants					•										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติและความเป็นพิษของทองแดงและแคดเมียม

1.ทองแดง (Coppe ,Cu)

ทองแดงเป็น โลหะที่ใช้มากที่สุด โลหะหนึ่งในรูปของโลหะอิสระ เพราะมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น สมบัติการนำไฟฟ้าและความร้อนดี ทนต่อการผุกร่อน แข็งแรง ดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นบางๆ ได้

การค้นพบ

โลหะทองแดงรู้จักกันตั้งแต่ก่อนประวัติศาสตร์ และได้มีการนำมาใช้ประโยชน์มากกว่า 6,000 ปีมาแล้ว ถึงแม้จะมีหลักฐานค่อนข้างแน่ชัดว่ามนุษย์เรารู้จักนำเอาทองคำและเหล็กมาใช้ประโยชน์ก่อนทองแดง แต่ก็เป็นที่มั่นใจได้ว่าทองแดงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาวัฒนธรรมในสมัยโบราณ

สมบัติทางกายภาพ

ทองแดงบริสุทธิ์มีสีสีแดง มีความแวววาว มีความแข็งและเหนียว สามารถดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นบางๆ มีสมบัติการนำไฟฟ้าและความร้อนดี (เป็นที่สองรองจากโลหะเงิน) สมบัติทางกายภาพอื่นๆ ของทองแดง และมีเลขอะตอม 29 เป็นธาตุแรกของหมู่ IB จัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชัน น้ำหนักอะตอม 63.54 ความหนาแน่น 8.94 g/cc ที่ 20 °C จุดหลอมเหลว 1083 °C จุดเดือด 2582 °C เลขออกซิเดชันสามัญ +1, +2 โครงสร้างผลึกเป็นแบบface-centered cubic รัศมีไอออน (pm) ของ ทองแดง (Cu²⁺) เป็น 73 มีประจุเป็น 2+ และความหนาแน่นประจุ 2.74x10¹⁰

สมบัติทางเคมี

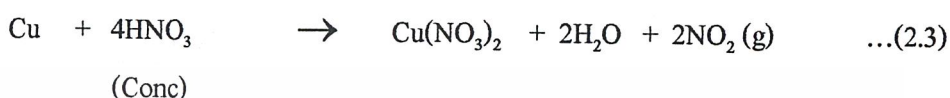
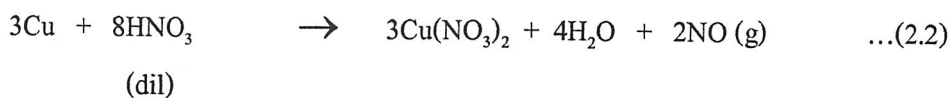
1.เมื่อสัมผัสกับอากาศชื้น ทองแดงจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีเขียวที่ผิวเพราะเกิด CuCO₃.Cu(OH)₂ เคลือบที่ผิว ทำหน้าที่ป้องกันทองแดงที่อยู่ข้างในไม่ให้ถูกออกซิไดส์ต่อไป อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาข้างต้นเกิดช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของ Fe นั่นคือทองแดงสามารถต่อต้านการขึ้นสนิมได้ดีกว่า Fe

2.เมื่อเผาทองแดงในอากาศ ทองแดงจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิด CuO ซึ่งมีสีดำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองแดงละลาย (ทำปฏิกิริยากับ) ในกรดออกซิไดส์ (oxidizing acid) เช่น HNO_3 เจือจาง และเข้มข้น และกรด H_2SO_4 เข้มข้นที่ร้อน เกิดเกลือของทองแดง



3.ทองแดงไม่ละลาย (ไม่ทำปฏิกิริยากับ) ในกรด HCl ทั้งเข้มข้นและเจือจาง และกรด H_2SO_4 เจือจาง และไม่ให้เกิด H_2 เป็นผลผลิต เพราะทองแดงมีค่าศักย์ไฟฟ้าแบบรีดักชันมากกว่า 2H^+ หมายความว่า Cu สามารถให้ e^- ได้เร็วกว่า H_2

4.ทองแดงเกิดสารประกอบ เช่น เฮไลต์ที่ทองแดงมีเลขออกซิเดชัน +1 และ+2 แต่ที่เป็น +2 สามีญกว่าและเสถียรกว่า เกลือของ $\text{Cu}(\text{II})$ ละลายน้ำได้สารละลายสีน้ำเงิน เพราะเกิดไฮเดรตไฮออน $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{+2}$

5.เกลือไบนารี (binary หมายถึงสารประกอบที่มี 2 ธาตุเท่านั้นเป็นองค์ประกอบ) ของ $\text{Cu}(\text{II})$ ที่อุณหภูมิสูงจะสลายเป็นเกลือ $\text{Cu}(\text{I})$ เช่น CuS และ CuO จะเปลี่ยนไปเป็น Cu_2O และ Cu_2S

6.ทองแดงสามารถเกิดสารเชิงซ้อนเป็นจำนวนมาก สารเชิงซ้อนทั่วไปมีเลขโคออดิเนชัน +2 และ +4

การใช้ประโยชน์

1. ทองแดงเป็นโลหะที่มีประโยชน์มากที่สุดและใช้มากที่สุดโลหะหนึ่ง (รองจากเหล็ก)
2. ใช้ทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าและเครื่องมือไฟฟ้าต่างๆ
3. ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง
4. ใช้ในการผลิตหม้อน้ำ กาน้ำ ถังน้ำ ท่อน้ำ และขดลวด กัดคัมน์น้ำร้อน ฯลฯ
5. ใช้เคลือบผิวโลหะ
6. ใช้ทำโลหะเจือ ทองเหลือง (brass) คือโลหะเจือทองแดง (~70%) และสังกะสี (~30%) ทองสัมฤทธิ์ (bronze) เป็นโลหะเจือของทองแดง คอปเปอร์ และสังกะสีเล็กน้อย เปรียบเทียบทั่วไปเป็นโลหะเจือที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย
7. ใช้ทำกระทะและเครื่องครัวต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นพิษ

ทองแดงเป็นโลหะที่ร่างกายเราต้องการในปริมาณเล็กน้อย(trace element) เช่น จำเป็นสำหรับกระบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) ผู้ใหญ่ต้องการทองแดง 2 mg/วัน และร่างกายของคนเรามีทองแดงอยู่ 100 – 150 mg ซึ่งทองแดงจำนวนนี้มีความเข้มข้นสูงสุดที่ตับและกระดูก โลหิตของเราก็มีทองแดงอยู่ด้วย เป็นที่ทราบกันว่าการสร้างฮีโมโกลบินต้องอาศัยทองแดง ถึงแม้ไม่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ นอกจากนั้นการสังเคราะห์เอนไซม์หลายชนิดต้องอาศัยทองแดงด้วย

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทองแดงในปริมาณเล็กน้อยไม่เพียงแต่ไม่เป็นพิษ ยังเป็นสิ่งที่ร่างกายเราต้องการ แต่ถ้ามีในปริมาณสูงก็จะให้โทษและเป็นพิษได้ เช่น Cu SO_4 27 g ทำให้ตายได้ ถ้ารับประทานปริมาณน้อยกว่านี้ จะเกิดอาการอาเจียน เหน็บชา และลำไส้

ทองแดงเป็นธาตุจำเป็นสำหรับพืชด้วย เช่น จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และเอนไซม์ของพืช

เทคโนโลยีการกำจัด

เทคโนโลยีที่ใช้กำจัดแคดเมียมที่นิยมใช้กันส่วนใหญ่ก็คือ เทคนิคการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ หรือตะกอนซัลไฟด์ และตะกอนคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังมีวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) ซึ่งวิธีนี้มีประโยชน์คือสามารถนำทองแดงกลับมาใช้ใหม่ได้ และวิธีระเหย (Evaporation) รวมทั้งวิธีการออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis) เป็นต้น

2. แคดเมียม (Cadmium ,Cd)

การค้นพบ

แคดเมียมได้รับการค้นพบเมื่อปี พ.ศ.2360 ซึ่งในธรรมชาติมักประปนอยู่ในแร่สังกะสีซัลไฟด์ และเป็นผลพลอยได้จากการถลุงแร่สังกะสี

คุณสมบัติ

แคดเมียมเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติอ่อน งอได้ มีสีขาวปนน้ำเงิน มีจุดหลอมเหลวประมาณ 321 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อน และระหว่างการหลอมเหลวด้วยความร้อนและความกดดันสูงทำให้กลายเป็นไอควันในรูปของแคดเมียมออกไซด์ นอกจากนี้แคดเมียมอาจอยู่ในรูปเกลือหรือสารประกอบต่างๆ เช่น แคดเมียมออกไซด์ มีสีแดง แคดเมียมซัลเฟต มีสีเหลือง ใช้ในการผลิตสี และแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม ซึ่งใช้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น

รัศมีไอออน(pm)ของแคดเมียม เป็น 65 มีประจุเป็น 2+ และความหนาแน่นประจุ 2.11×10^{10}

การใช้ประโยชน์

1. โรงงานถลุงแร่และผลิตสังกะสี
2. ผลิตแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม
3. การผลิตสี
4. การผลิตเซมิคอนดักเตอร์
5. การผลิตพลาสติก
6. โรงงานโลหะผสม (alloy)
7. การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
8. ใช้เคลือบผิวโลหะ

ความเป็นพิษ

การนำแคดเมียมมาใช้ในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น ในอุตสาหกรรมชุบโลหะ แบตเตอรี่ เป็นต้น และอาจก่อให้เกิดมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม

โรคพิษแคดเมียมมีการจดบันทึกและรายงานครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2401 มีอาการแสบตา ปวดศีรษะ มึนงง บ้านหมุน คอแห้ง ไอ แน่นหน้าอก ขาไม่มีแรง มีอาการหนาวสั่นคลื่นไส้อาเจียน ปวดท้อง แน่นหน้าอก และหายใจไม่สะดวก

โรคไตไตโต เกิดจากได้รับพิษแคดเมียม ซึ่งปนมาในน้ำ ทำให้มีอาการปวดกระดูก กระดูกเปราะมาก ไตพิการ ความดันโลหิตสูง สาเหตุเกิดจากโรงงานถลุงแร่สังกะสีแห่งหนึ่งทิ้งกากโลหะซึ่งมีแคดเมียมผสมอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงาน

การเข้าสู่ร่างกายและกลไกการเกิดพิษ เนื่องจากแคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้สองทาง คือทางการกินและการหายใจ เมื่อคนกินเข้าไป แคดเมียมมักถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร ประมาณร้อยละ 6 แต่ในภาวะที่ร่างกายขาดธาตุเหล็กมักทำให้เกิดการซึมเข้าสู่ร่างกายได้สูงขึ้นถึง ร้อยละ 20 ของจำนวนแคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกาย และส่วนทางการหายใจรับฝุ่นหรือไอควันแคดเมียม ในบรรยากาศการทำงานได้ทางปอดประมาณร้อยละ 20-50 ภายหลังจากการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้ว แคดเมียมถูกกล้ำเลี้ยงต่อไปยังตับ และจับตัวกับโปรตีนประมาณร้อยละ 80-90 ของจำนวนแคดเมียม ทั้งหมด และประมาณร้อยละ 50 ของแคดเมียมที่มีอยู่ทั้งหมดในร่างกายสะสมอยู่ในตับและไต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคดเมียมมีระยะครึ่งอายุยาวถึงประมาณ 7-30 ปี ตามปกติแคดเมียมถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะในรูปของสารเชิงซ้อนแคดเมียม-เมทัลโลไซย์โอนิน อัตราการขับออกทางปัสสาวะค่อนข้างต่ำ และจำนวนเล็กน้อยถูกขับออกทางน้ำดี น้ำลาย ผม และเส้น

พิษเรื้อรังจากแคดเมียมอาจเป็นพิษเฉาะที่ ได้แก่ ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ การทำลายไต การมีโปรตีนในปัสสาวะ และเกิดโรคโลหิตจาง เป็นต้น

การได้รับแคดเมียมเป็นระยะเวลานาน มักพบลักษณะของกระดูกผิดปกติ ได้แก่ กระดูกโพรง กระดูกพรุน และกระดูกหักง่าย ทำให้ผู้ป่วยมีอาการปวดกระดูกขา และเดินลำบาก ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นผลของแคดเมียมต่อเมตาโบลิซึมของกระดูกโดยตรง และแคดเมียมยังก่อให้เกิดการแตกทำลายของเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดการขาดธาตุเหล็กทำให้เกิดอาการซีดชนิด hypochromic ซึ่งเป็นชนิดที่พบบ่อยในผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าไปในระดับสูง

แคดเมียมได้รับการจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง เมื่อได้รับแคดเมียมทำให้เกิดมะเร็งในต่อมลูกหมากเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาหลายฉบับที่แสดงถึงแนวโน้มว่าแคดเมียมเป็นสารก่อมะเร็ง โดยมีการทดลองให้ CdS_2 และ $CdSO_4$ ได้ผิวหนังและกล้ามเนื้อสัตว์ทดลองพบว่าก่อให้เกิดมะเร็งชนิด sarcoma ณ บริเวณนั้น และสามารถแพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองและปอดได้

เทคโนโลยีการกำจัด

เทคโนโลยีที่ใช้กำจัดแคดเมียมที่นิยมใช้กันส่วนใหญ่ก็คือ เทคนิคการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ หรือตะกอนซัลไฟด์ และตะกอนคาร์บอเนต การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery) และสำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมสูงๆ อาจมีการใช้วิธีการระเหย (Evaporation) แยกแคดเมียมกลับมาใช้อีก เป็นต้น

2.2 วิธีการกำจัดโลหะหนักออกจากกากตะกอน

2.2.1 การชะทางชีวภาพ (biological leaching)

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการชะโลหะออกจากดิน โดยการดูดซับโลหะหนักในดินมีหลายประเภท ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และ รา ลักษณะการดูดซับของจุลินทรีย์ แบ่งเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกโลหะหนักจะถูกจับไว้ที่ผิวเซลล์ และช่วงที่สองจะเป็นการนำโลหะหนักเข้าสู่เซลล์ เพื่อกำจัด หรือลดความเป็นพิษได้ โดยกลไกในการดูดซับโลหะหนัก ใน active cell และ inactive cell มีความแตกต่างกัน คือ ใน active cell จะดูดซับโลหะหนักโดยอาศัยกลไกการนำสารเข้าสู่เซลล์ และกระบวนการ

เมตาบอลิซึมภายในเซลล์ ส่วนใน inactive cell จะถูกขับโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดกับหมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบของผนังเซลล์

2.2.2 การใช้โอโซน (Ozone)

โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมากดังนั้น โอโซนจึงสามารถออกซิไดส์โลหะรูปต่างในดินได้ เช่น โอโซนสามารถ ออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่จับกับ โลหะในดินทำให้สามารถกำจัดโลหะออกจากดินได้และสามารถลดการเกิด โครงสร้างเชิงซ้อนของ โลหะกับสารอินทรีย์ในดินได้

2.2.3 การใช้ปัมป์น้ำ

การปัมป์น้ำลงดินเป็นวิธีการที่ทำได้ยากและใช้เวลานาน เพราะดินและกากตะกอนดูดซับ โลหะไว้ด้วยพันธะแข็งแรง เนื่องจากในดินสามารถเกิดการดูดซับระหว่างโลหะ กับ ประจุลบของอนุภาคดิน และฮิวมิกในดิน

2.2.4 การชะด้วยสารเคมี (Chemical leaching)

เทคนิคในการแก้ไขปัญหาโลหะปนเปื้อนด้วยวิธีการชะด้วยสารเคมีเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก สารเคมีที่ใช้ชะ โลหะออกจากดินหรือกากตะกอน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนบางครั้งเรียกว่า สารประกอบ โคออดิเนชันทั้งนี้ เป็นเพราะว่า สารประกอบชนิดนี้เป็นสารประกอบที่เกิดพันธะ โควาเลนต์โดยมีอะตอมของ โลหะ หรือแคตไอออนที่เรียกว่าอะตอมกลางพวก โลหะหนักต่างๆ เช่น แคดเมียม ทองแดง สังกะสี และ ตะกั่ว เป็นต้น ทำหน้าที่รับคู่อิเล็กตรอนจากแอนไอออนหรือเรียกว่าลิแกนด์ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดไนตริก (HNO₃) และกรดเอริดีนไดอะมีนเทตระเอซีติก (EDTA) เป็นต้น

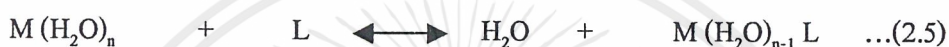
2.3 การชะด้วยสารเคมี (Chemical leaching)

การใช้สารเคมีชะ โลหะออกจากดินหรือกากตะกอน ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนบางครั้งเรียกว่า สารประกอบ โคออดิเนชันทั้งนี้ เป็นเพราะว่า สารประกอบชนิดนี้เป็นสารประกอบที่เกิดพันธะ โควาเลนต์โดยมีอะตอมของ โลหะ หรือแคตไอออนที่เรียกว่าอะตอมกลางพวก โลหะหนักต่างๆ ทำหน้าที่รับคู่อิเล็กตรอนจากแอนไอออนหรือเรียกว่าลิแกนด์

ลิแกนด์ชนิด โพลีเดนเทตลิแกนด์ที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ โลหะแล้วให้สารประกอบเชิงซ้อนเป็นวงเรียกรวมสารประกอบเชิงซ้อนนั้นว่า คีเลตคอมเพลกซ์ลิแกนด์ที่สามารถเกิด

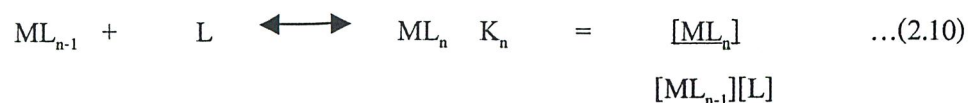
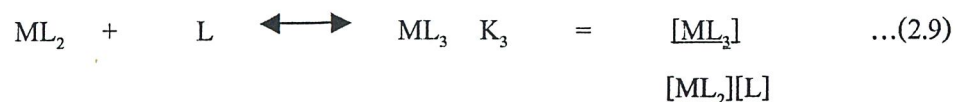
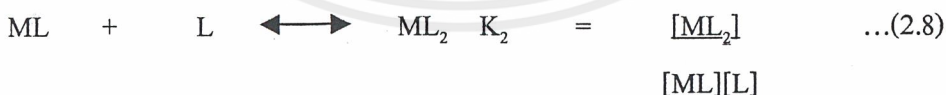
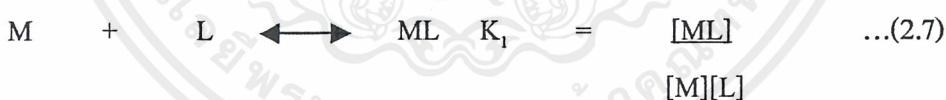
คือเกิดดิงคอมเพลกซ์ได้ คือ สารประกอบทางอินทรีย์ (organic compound) ซึ่งมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า คีเลตติ้งเอเจนต์ (chelating agent)

ส่วนค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complex formation constant, K_f) ของสารประกอบเชิงซ้อนทุกตัว มีโลหะที่สามารถรับคู่ของอิเล็กตรอนได้มากกว่า 1 คู่ ดังนั้นถ้าลิแกนด์เป็นชนิดโมโนเดนเทตลิแกนด์ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนจะเกิดขึ้นขึ้น โดยปกติถ้ามีไอออนของโลหะละลายอยู่ในน้ำ โลหะเหล่านั้นจะถูกไฮเดรตด้วยโมเลกุลของน้ำ ค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนพิจารณาจากปฏิกิริยาการแทนที่ของลิแกนด์ที่แรงกว่ากับน้ำดังแสดงในสมการต่อไปนี้



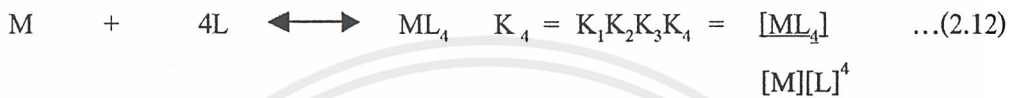
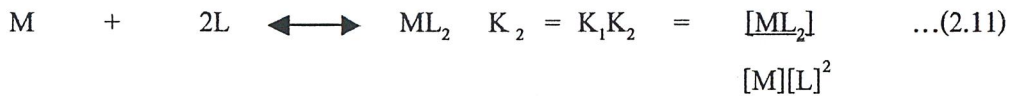
จากสมการพบว่าไอออนของโลหะที่มีโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์เท่ากับ n และ L คือ ลิแกนด์ที่แรงกว่าน้ำ

ปฏิกิริยาการแทนที่จะเกิดขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิด ML_n เพื่อเป็นการสะดวกในการเขียนสมการจึงไม่จำเป็นต้องเขียนโลหะในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน ที่เกิดจากโมเลกุลของน้ำ โลหะที่เกิดสารเชิงซ้อนอาจมีประจุเป็น $+1$ หรือ $+2$ หรือมากกว่านี้ได้ สามารถเขียนขึ้นของการเกิดปฏิกิริยาและค่าคงที่แทนปฏิกิริยาทั้งไปได้ดังนี้ (ชูติมา , 2531)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสามารถแสดงถึงความอยู่ตัวของสารประกอบที่เกิดขึ้น ถ้ามีค่ามากแสดงว่าสารประกอบนั้นมีความอยู่ตัวสูง ค่าคงที่ทั้งหมดแต่ละขั้นที่เกิดปฏิกิริยา มีสัญลักษณ์ ดังนี้



ในสารละลายที่ประกอบด้วยไอออนของโลหะและลิแกนด์ความเข้มข้นรวมทั้งหมดของโลหะจะมีค่าเท่ากับผลรวมของโลหะที่ไม่ได้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นทุกสปีชีส์

$$C_M = [M] + [ML] + [ML_2] + [ML_3] + \dots + [ML]_n \quad \dots(2.13)$$

ในกรณีที่สารละลายมรปริมาณของลิแกนด์มากๆ สารประกอบเชิงซ้อนส่วนใหญ่ในสารละลายคือ ML_n ดังนั้นในการคำนวณสามารถตัดสปีชีส์อื่นๆทิ้งได้ สารเคมีที่ใช้ชะโลหะออกจากดินแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. สารอนินทรีย์

สารอนินทรีย์ เช่น hydrochloric acid (HCl) Nitric acid (HNO₃) เป็นต้น ซึ่งกรดอนินทรีย์ที่ใช้เป็นลิแกนด์ทั้งหมด คือ ชนิดยูนิเดนเทตลิแกนด์ ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเกิดเป็นขั้นในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับลิแกนด์สามารถอธิบายปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะ ไอออนกับคลอไรด์ได้ดังนี้ (จุติมา , 2531)





2. สารอินทรีย์

โลหะกับลิแกนด์ควรเกิดสารประกอบเชิงซ้อนในอัตราส่วน 1:1 ดังนั้นลิแกนด์ที่นำมาใช้ไทเทรตจึงต้องเป็นชนิดโพลีเดนเทตลิแกนด์ ลิแกนด์ที่เป็นชนิดโพลีเดนเทตลิแกนด์ทั้งหมด คือ สารประกอบอินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์ชนิดที่นำมาใช้ในการชะดินมากที่สุดคือ สารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรกับ โลหะหลายตัวจึงสามารถนำมาใช้ในการชะโลหะออกจากดินได้ และ สารประกอบที่ใช้กันมากที่สุด คือ กรดเอริลีน ไดอะมีน เทตระแอซิดิก (EDTA) ส่วนนอกจาก EDTA แล้วยังมีกรดอินทรีย์ชนิดอื่นอีก เช่น Nitritotriacetate (NTA) , citric acid, acitic acid , oxalic acid เป็นต้น

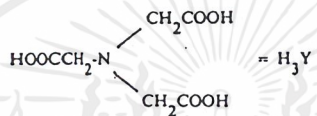
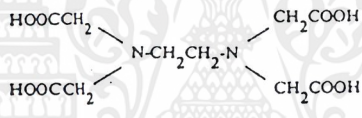
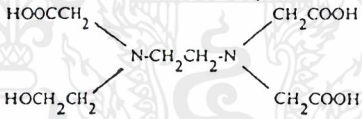
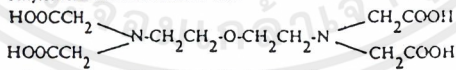
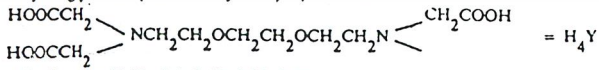
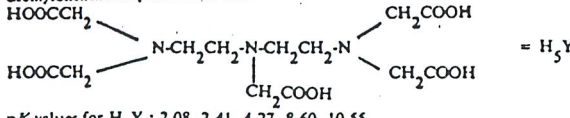
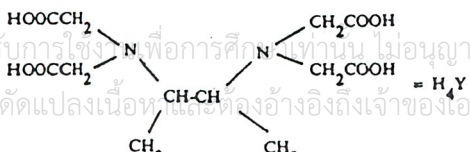
คุณสมบัติของคีเลตติ้งเอเจนต์ (chelating agent) ระหว่าง NTA , EDTA และ DTPA ศึกษาโดย Robert และ Peter (1991) ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของคีเลตติ้งเอเจนต์ (chelating agent)

Chelating Agent	Molecular Weight (g/mol)	Acidity Constants					Metal Chelate Log (Stability Constant)				
		pK1	pK2	pK3	pK4	pK5	Cd	Zn	Cu	Pb	Fe
Nitritotriacetic Acid (NTA)	191	1.89	2.49	9.73	--	--	10.5	11.2	13.7	11.8	17.0
Ethylene-Diaminetetracetic Acid (EDTA)	292	2.08	3.01	6.40	10.44	--	17.5	17.2	19.7	17.7	26.5
Diethylene-triaminetetraacetic Acid (DTPA)	93	2.08	2.81	4.49	8.73	10.6	20.1	19.7	22.6	21.0	29.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงชนิดของคีเลตติงเอเจนต์ (chelating agent)

Abbreviation	Chemical name
trien	triethylenetetramine $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 = \text{Y}$ pK values for H_4Y : 3.32, 6.67, 9.20, 9.92
tetren	tetraethylenepentamine $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 = \text{Y}$ pK values for H_5Y : 2.6, 4.1, 8.2, 9.2, 10.0
NTA	nitrilotriacetic acid  pK values for H_3Y : 1.9, 2.49, 9.73
EDTA	ethylenediaminetetraacetic acid  pK values for H_4Y : 2.0, 2.67, 6.16, 10.26
HEDTA	N-hydroxyethylenediaminetriacetic acid  pK values for H_3Y : 2.64, 5.33, 9.73
EEDTA	ethyletherdiaminetetraacetic acid  pK values for H_4Y : 1.90, 2.67, 8.82, 9.49
EGTA	ethyleneglycol-bis-(beta-aminoethylether)-N, N'-tetraacetic acid  pK values for H_4Y : 2.0, 2.68, 8.85, 9.43
DTPA	diethylenetriaminepentaacetic acid  pK values for H_5Y : 2.08, 2.41, 4.27, 8.60, 10.55
CyDTA	cyclohexanediaminetetraacetic acid 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงตารางค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนที่ 25 องศาเซลเซียส (ชูติมา , 2531)

$$K_{My} = \frac{[MY]}{[M][Y]}$$

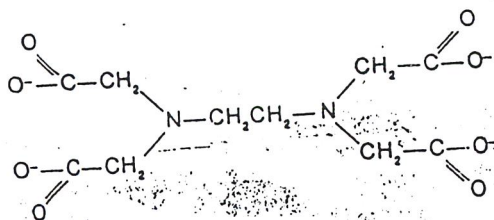
Chelon	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Sr ²⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Cd ²⁺	Pb ²⁺
Trien	Negl	Negl	Negl	4.9	7.8	-	14.0	20.1	11.9	10.8	10.4
Tetren	Negl	Negl	Negl	7.0	-	-	17.8	22.9	15.4	14.0	10.1
NTA	5.4	6.4	5.0	7.4	8.8	15.8	11.5	12.6	10.5	9.8	11.1
EDTA	8.7	10.7	8.7	13.8	14.4	25.1	18.6	18.8	16.5	16.5	17.9
HEDTA	7.0	8.0	6.8	10.7	11.6	-	17.0	17.4	14.5	13.0	15.5
EEDTA	8.3	10.0	8.6	13.2	-	-	14.7	17.8	15.3	16.3	14.4
EGTA	5.4	10.9	8.5	12.3	-	-	13.6	17.8	13.0	16.7	14.6
DTPA	9.0	10.7	9.7	15.5	16.7	27.5	20.2	20.0	18.8	19.0	18.6
CyDTA	10.3	12.3	10.0	16.8	-	-	19.4	21.3	18.6	19.2	19.7

2.4 Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)

2.4.1 โครงสร้างของ ของ EDTA

EDTA คือ ตัวคีเลตดิเจนท์ และเป็นพอลิเดนเทตลิแกนดอะตอมจ่ายมี 6 อะตอม (สามารถจับอะตอมโลหะได้ในลักษณะคล้ายๆ กรงเล็บ คำว่า “chele” ในภาษากรีกแปลว่า กรงเล็บ) ทำให้เป็นคีเลตดิเจนดท์ที่ดี และเป็นสารประเภท Tertiary amine ที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลสามารถเกิดสารเชิงซ้อนแบบคีเลตที่เสถียรกับไอออนของโลหะหลายชนิด สารนี้ใช้เป็นลิแกนดท์เมื่อจับโลหะ ไอออนจะได้ไอออนเชิงซ้อนหรือโมเลกุลที่มีความเสถียรสูงคือ สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะในรูปของคีเลต เพื่อใช้ในการควบคุมการปนเปื้อนโลหะไอออนอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากธาตุทรานซิชันสามารถสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับกลุ่มของโมเลกุล หรือไอออนเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนที่สามารถจับกับไอออนเกิดเป็น โมเลกุลเชิงซ้อนเรียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของ EDTA (hexadentate ligand)

อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของ O แต่ละตัวในหมู่ OH และของ N แต่ละตัว ทำให้โมเลกุลของ EDTA เป็นลิแกนด์เฮกซะเดนเตต (hexadentate ligand) ซึ่งสามารถรวมกับไอออนของโลหะได้สูตรอย่างย่อของ EDTA คือ H₄Y ปกติ H₄Y และเกลือโซเดียมไดไฮเดรต (Na₂H₂Y · 2H₂O) ชนิดมาตรฐานปฐมภูมิมิจำหน่ายทั่วไป H₄Y ต้องอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 130-145 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหลายชั่วโมง การละลายของสารนี้ต้องเค็มเบตลงไปเล็กน้อย จะเกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ ส่วนเกลือโซเดียมไดไฮเดรตของ EDTA เป็นที่นิยมมาก ถึงแม้จะมีความชื้นประมาณ 3 % แต่ละลายน้ำได้ และเมื่อเก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดโพลีเอทิลีนที่เสถียรเป็นเวลาหลายเดือน

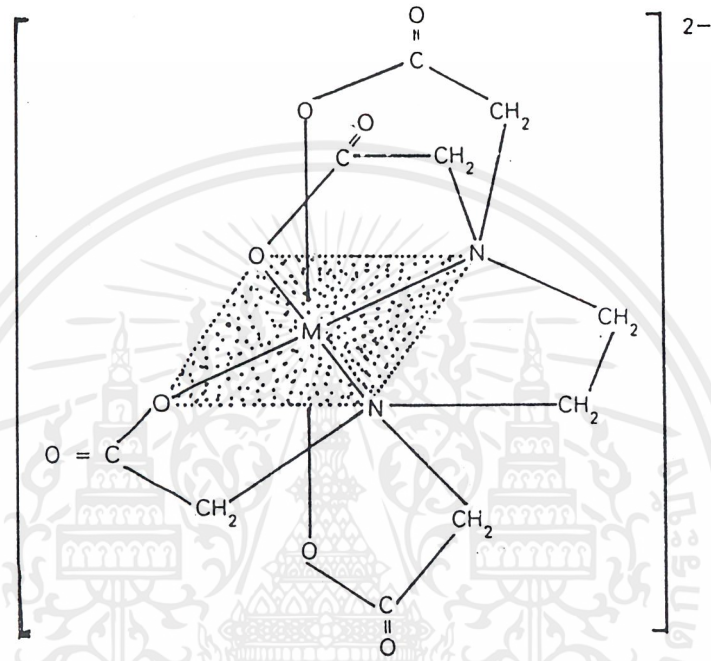
2.4.2 การเกิดสารเชิงซ้อนของ EDTA กับโลหะ

สมบัติที่ดีของ EDTA คือเป็นลิแกนด์ที่รวมตัวกับไอออนของโลหะส่วนใหญ่ด้วยอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 ตัวอย่าง เช่น ซิลเวอร์ไอออน คอปเปอร์ไอออน และอะลูมิเนียมไอออน เมื่อรวมกับ EDTA จะให้สารเชิงซ้อนดังนี้

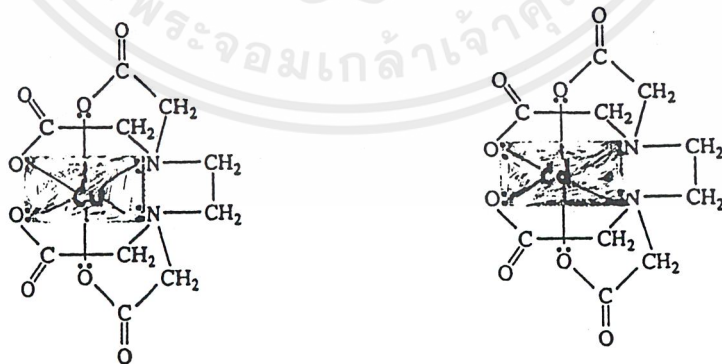


สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเป็นแบบคีเลตที่เป็นตัวการที่ทำให้สารเหล่านี้เสถียร เป็นผลเนื่องมาจากลักษณะการเกิดพันธะเคมีของลิแกนด์ที่มีทิศทางทำให้ไอออนของโลหะอยู่ตรงกลาง และ

ล้อมรอบด้วยลิแกนด์ ซึ่งจะทำให้ไอออนของโลหะแยกตัวออกจากโมเลกุลของตัวทำละลายได้
 สูตรโครงสร้างของสารเชิงซ้อนของไอออนของโลหะไดวาเลนต์ (divalent metal ion) บางชนิด
 กับ EDTA แสดงดังรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 แสดงไอออนเชิงซ้อนของ EDTA กับแคดเมียมและ
 ทองแดง



รูปที่ 2.4 แสดงไอออนเชิงซ้อนของ EDTA กับไอออน
 ของโลหะไดวาเลนต์ (divalent metal ion)



รูปที่ 2.5 แสดงไอออนเชิงซ้อนของ EDTA กับ แคดเมียม กับทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนสำหรับ EDTA

ค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนสำหรับ EDTA คือ K_{MY} ของไอออนของโลหะต่างๆ ที่มี EDTA เป็นลิแกนด์ ค่านี้เกี่ยวกับความเข้มข้นของ Y^{4-} ดังนี้



ตารางที่ 2.5 แสดงค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อน สำหรับ EDTA (ชูติมา , 2531)

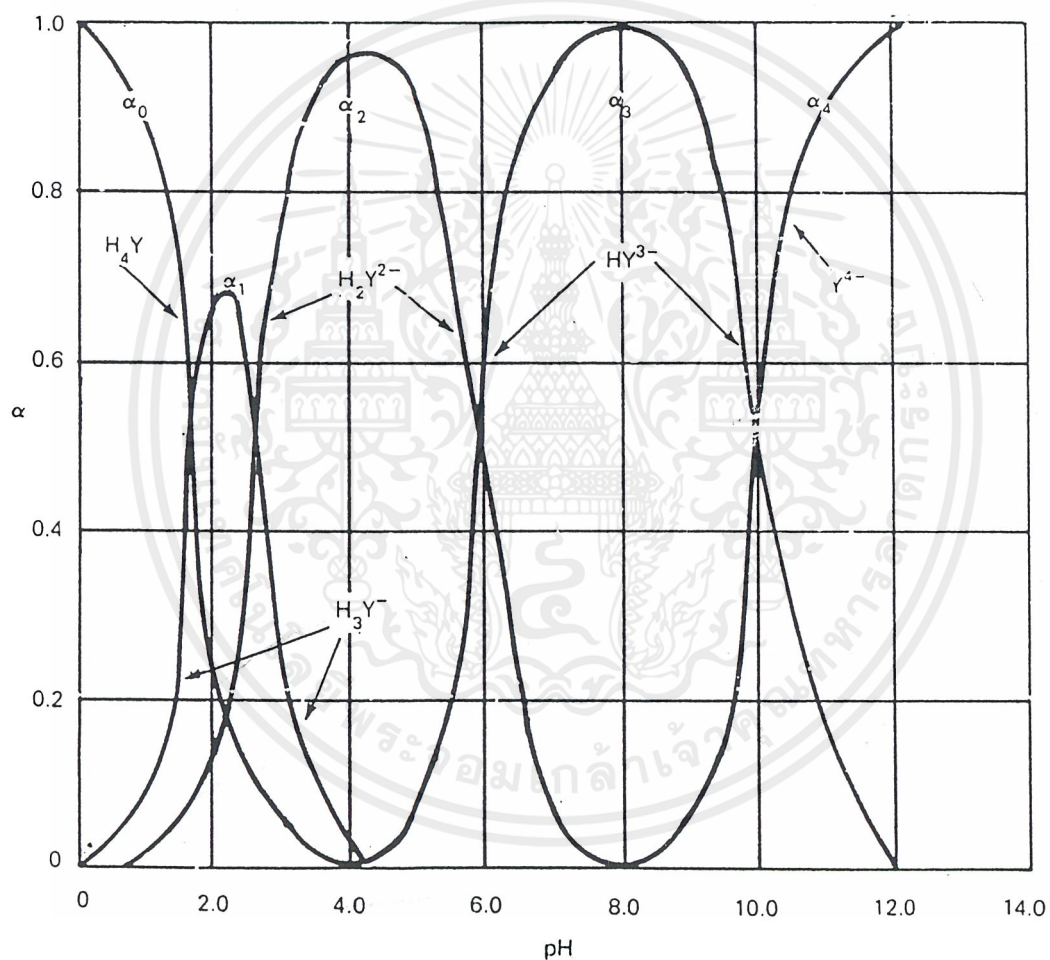
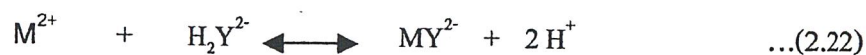
แคตไอออน	K_{MY}	Log K_{MY}	แคตไอออน	K_{MY}	Log K_{MY}
Ag ⁺	2.1 x 10 ⁷	7.32	Hg ²⁺	6.3 x 10 ²¹	21.8
Al ³⁺	1.3 x 10 ¹⁶	16.13	Mg ²⁺	4.9 x 10 ⁸	8.69
Ba ²⁺	5.8 x 10 ⁷	7.76	Mn ²⁺	6.2 x 10 ¹³	13.79
Ca ²⁺	5.0 x 10 ¹⁰	10.70	Ni ²⁺	4.2 x 10 ¹⁸	18.62
Cd ²⁺	2.9 x 10 ¹⁶	16.50	Pb ²⁺	1.1 x 10 ¹⁸	18.04
Co ²⁺	2.0 x 10 ¹⁶	16.31	Sr ²⁺	4.3 x 10 ⁸	8.63
Cu ²⁺	6.3 x 10 ¹⁸	18.80	Th ⁴⁺	2.0 x 10 ²³	23.2
Fe ²⁺	2.1 x 10 ¹⁴	14.33	V ³⁺	8.0 x 10 ²⁵	25.9
Fe ³⁺	1.0 x 10 ²⁵	25.10	Zn ²⁺	3.2 x 10 ¹⁶	16.50

2.4.4 ผลของ pH ที่มีต่อองค์ประกอบของ EDTA

เนื่องจาก K_{MY} ในตารางที่ 2.5 มีความเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของ Y^{4-} แต่ในสารละลายของ EDTA จะประกอบด้วยไอออนและโมเลกุลนอกเหนือไปจาก Y^{4-} กล่าวคือ HY^{3-} , H_2Y^{2-} , H_3Y^- และ H_4Y สารเหล่านี้มีความเข้มข้นมากน้อยแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าพีเอช จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าที่ pH 3-6 คือที่สารละลายเป็นกรดอ่อนเกือบเป็นกลาง H_2Y^{2-} จะเป็นสารที่มีมากที่สุด แต่ถ้าสารละลายเป็นกลาง หรือค่อนข้างเป็นเบสเล็กน้อย คือ pH ระหว่าง 6-10 EDTA ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป HY^{3-} แต่ถ้า pH สูงกว่า 10 EDTA จะอยู่ในรูป Y^{4-} จะเป็นสัดส่วนที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากที่สุด ดังนั้นปฏิกิริยาของการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไอออนของโลหะใดวาเลนซ์กับ EDTA ในสารละลายที่เป็นกรดเล็กน้อยจะเป็นดังนี้



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบของสารละลาย EDTA ที่ pH ต่างๆ (ชูติมา ,2531)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 ความเป็นพิษของ EDTA

-มวลต่อโมล: 292.25

-สูตรโมเลกุล: $C_{10}H_{16}N_2O_8$

-ชื่ออื่น : Ethylenedinitrilotetraacetic acid ; Edetic acid ; Ethylenediaminetetraacetic acid ;

EDTA

-ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย : ระคายเคืองต่อตา เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ อาจมีผลเสียระยะยาวต่อสภาวะแวดล้อมในน้ำ

-ข้อมูลทางพิษวิทยาพิษเฉียบพลัน : LD_{50} (oral, rat): > 2000 mg/kg

-ข้อมูลเพิ่มเติมทางพิษวิทยา

เมื่อเข้าตา: ระคายเคือง

เมื่อกลืนกิน: ไม่มีรายละเอียดของอาการพิษ ครอบคลุมผลของอิลีกโตรไลต์ในร่างกาย

-ข้อมูลเชิงนิเวศน์

การย่อยสลายทางชีวภาพ : กำจัดได้เล็กน้อย (การลดลงของ DOC < 20%)

ผลกระทบทางชีวภาพ : เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ อาจก่อให้เกิดผลเสียระยะยาวต่อระบบนิเวศน์ทางน้ำ

ความเป็นพิษต่อปลา : *L.macrochirus* LC_{50} : 129 mg/l /96 h

S.gairdnerii LC_{50} : 340 mg/l /24 h

L.idus LC_{50} : 2040 mg/l

ความเข้มข้นที่เป็นพิษสูงสุดที่ยอมรับได้ : *Ps.pudita* EC_5 : 105 mg/l

Sc.quadricauda EC_5 : 11 mg/l

ความสามารถในการถูกย่อยสลาย: BOD_5 : 0.01 g/g ห้ามทิ้งลงสู่ระบบน้ำ, น้ำ

เสีย หรือดิน

2.5 วิธีการกำจัดโลหะหนักจากน้ำชะละลาย

กระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย มีหลายวิธี การพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่างๆ ได้แก่คุณสมบัติของโลหะก่อนบำบัด คุณภาพที่ต้องการหลังบำบัด ค่าใช้จ่ายในการกำจัดโลหะหนัก ซึ่งสามารถสรุปวิธีการกำจัดได้ดังนี้

2.5.1 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)

การตกตะกอน (precipitation) เป็นกระบวนการฟิสิกส์-เคมี ที่เปลี่ยนสารที่อยู่ในรูปของสารละลาย (dissolved) ให้มาอยู่ในสถานะของแข็ง ซึ่งแยกออกได้จากสารละลายนั้นขบวนการ precipitation ขึ้นอยู่กับสถานะสมดุลทางเคมีที่มีผลต่อการละลายนั้นๆ โดยวิธีการเติมสารเคมีหลายวิธีด้วยกันวิธีที่นิยม คือ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ และการตกตะกอนซัลไฟด์

2.5.1.1 การตกตะกอนไฮดรอกไซด์

การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ ทำได้โดยการเติมสารเคมี เช่น ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นต้น โดยเกิดปฏิกิริยาดังนี้ (M^{2+} คือ โลหะไอออน)



การตกตะกอนไฮดรอกไซด์สามารถใช้กับน้ำเสียได้หลายชนิดด้วยกัน แต่มีข้อจำกัดคือการตกตะกอนไฮดรอกไซด์จะต้องมีค่าพีเอชที่เหมาะสม

2.5.1.2 การตกตะกอนซัลไฟด์

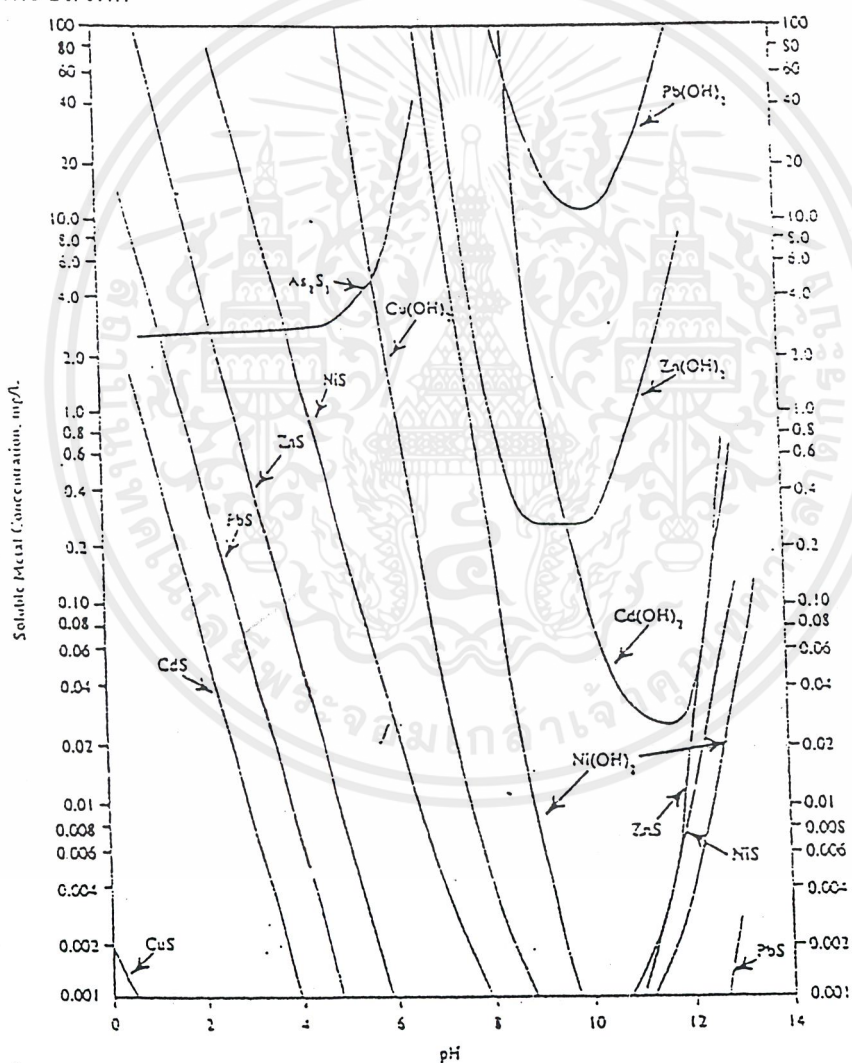
การตกตะกอนซัลไฟด์ มักจะใช้สารเคมีในการตกตะกอนคือ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



ข้อดีของการตกตะกอนซัลไฟด์ คือ การละลายของโลหะซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ แต่การตกตะกอนซัลไฟด์ มีข้อจำกัด คือ เรื่องของกลิ่นแก๊ซ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดมากเกินไปจึงต้องมีการป้องกันแก๊ซที่เกิดขึ้น โดยบำบัดน้ำเอาซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง

ความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์จึงขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลาย ยกตัวอย่างเช่น ทองแดงจะละลายได้ดีในช่วงพีเอช 6-8 แล้วจะเกิดการตกตะกอนอยู่ในรูป $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ที่พีเอชประมาณ 9 ขึ้นไป และจะละลายอยู่ในรูป CuS ที่พีเอชต่ำๆ ส่วนแคดเมียมจะละลายได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 7-8 แล้วจะเกิดการตกตะกอนอยู่ในรูป $\text{Cd}(\text{OH})_2$ ที่พีเอชประมาณ 10 ขึ้นไป และจะละลายอยู่ในรูป CdS ที่พีเอชประมาณ 2 ขึ้นไป ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของสารละลายกับความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของสารละลายกับความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ และโลหะซัลไฟด์ (ฐติมา, 2531)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตกตะกอนทางเคมีของแคลเซียม

การตกตะกอนทำได้โดยการเติมสารละลายที่มีหมู่ไฮดรอกไซด์ลงในน้ำที่ปนเปื้อนของแคลเซียม เพื่อเกิดการตกตะกอน สารที่นิยมคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะให้ไอออนลบคือ OH^- ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



การตกตะกอนทางเคมีของทองแดง

ทองแดงตกตะกอนโดยการเติมสารละลายที่มีหมู่ไฮดรอกไซด์ มีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ โลหะหนักจะถูกกำจัดออกโดยเติมสารที่เป็นด่าง เพื่อปรับพีเอชของน้ำเสียให้ถึงจุดที่โลหะละลายต่ำสุด โดยความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ ในสารละลายจะลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นจนถึงจุด isoelectric point หลังจากนั้นโลหะจะกลับมาละลายได้อีกเพราะกลายเป็น amphoteric อย่างไรก็ตามความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการละลาย (K_{sp}) ของโลหะไฮดรอกไซด์ ค่า K ของ complex agents เช่น EDTA, NTA, citrate, tartrate, gluconic acid, cyanide, ammonia เป็นต้น ดังนั้นแสดงว่า Chelating agent ทำให้การตกตะกอนของไฮดรอกไซด์ลดลง แม้จะปรับ pH ให้สูงขึ้นก็ตาม

2.5.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนี้จะสามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลายได้ โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดมีความชอบหรือถูกดูดซับโดยเรซิน (Resin) ไม่เท่ากัน ซึ่งสารแลกเปลี่ยนไอออนมีทั้งแบบที่ได้จากธรรมชาติและชนิดสังเคราะห์ จะมีฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และจะถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงข้าม ซึ่งไอออนที่มีประจุตรงข้ามนี้เป็นไอออนที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย ถ้าการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวกจะเรียกว่า แคทไอออนเอกเชนเจอร์ (Cation Exchanger) และถ้าเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุลบ จะเรียกว่า แอนไอออนเอกเชนเจอร์ (Anion Exchanger) วิธีนี้เหมาะสำหรับกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน ชุมโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้มีข้อจำกัดกับชนิดน้ำเสีย กล่าวคือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นควรกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซิน เพื่อให้การบำบัดมีประสิทธิภาพสูงสุด

การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) ของแคดเมียม

การกำจัดแคดเมียมด้วยเรซิน ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินกับไอออนของแคดเมียม โดยไอออนของเรซินที่ปล่อยออกมาจะเป็นไอออนที่ไม่มีพิษส่วนใหญ่เป็นไฮโดรเจนไอออน (H^+) หรือโซเดียมไอออน (Na^+) ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้



การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) ของทองแดง

การกำจัดทองแดงด้วยเรซิน ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินกับไอออนของทองแดง โดยไอออนของเรซินที่ปล่อยออกมาจะเป็นไอออนที่ไม่มีพิษส่วนใหญ่เป็นไฮโดรเจนไอออน (H^+) หรือโซเดียมไอออน (Na^+) ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้



พบว่าวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูง เพราะเรซินมีราคาแพง เรซินที่ใช้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกโดยการล้างด้วยกรด แต่ประสิทธิภาพของเรซินจะค่อยๆ ลดลงจนใช้ไม่ได้ในที่สุด

2.5.3 การออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis)

เป็นการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยใช้หลักการแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนที่ทำด้วยเซลลูโลสอะซิเตท และ โพลีเอมีน ซึ่งจะใช้เฉพาะตัวทำละลายผ่าน Semipermeable Membrane เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้น วิธีนี้ต้องใช้ความดันสูงกว่า 100 บรรยากาศ ดังนั้นแผ่นเมมเบรนที่ใช้ต้องทนต่อแรงดันสูงและต้องมีการปรับค่าพีเอชแยกสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงออก และกรองสารแขวนลอยออกก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน วิธีนี้เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า น้ำเสียจากการล้างภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 การระเหย (Evaporation)

วิธีการระเหยนํ้าออกนี้เป็นวิธีที่ง่าย ๆ ที่ใช้ในการทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น การระเหยมีทั้งระเหยที่บรรยากาศ (Atmospheric Evaporation) และการระเหยใต้สุญญากาศ (Vacuum Evaporation) วิธีการบำบัดแบบนี้จะใช้ได้ผลดีกับนํ้าเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูง ๆ เท่านั้น แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ ต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง

2.5.5 อิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

วิธีการนี้เป็นการแยกไอออนออกจากสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้าตรงร่วมกับการใช้เมมเบรนที่เลือกเฉพาะสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion Selective Membrane) กลไกของวิธีนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย และนํ้าเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีนี้มีต้นทุนค่าก่อสร้างและการดำเนินงานสูง แต่มีข้อดีคือสามารถกำหนดชนิดของไอออนที่ต้องการได้

2.5.6 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทด และเกิดแก๊สออกซิเจนที่ขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นโลหะสูง แต่วิธีนี้มักไม่นิยมเนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

2.5.7 การดูดซับ (Adsorption)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการในการกำจัดสารที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุล โดยสารที่ใช้ในการดูดซับมักจะเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) พวกถ่านที่ใช้กันมี 2 ลักษณะ คือ แบบคาร์บอนเป็นเม็ด (Granular Carbon) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.1 มิลลิเมตร และแบบคาร์บอนเป็นผง (Powder Carbon) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 200 เมช ซึ่งทำจากเมล็ดของแอลมอนด์ เปลือกถั่ว กะลามะพร้าว ไม้อื่น ๆ หรือถ่านทั่วไป โดยถูกนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อ

ให้ได้พื้นที่ผิวของคาร์บอนมากๆ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์ ที่นำมาใช้มีขนาดพื้นที่ผิวตั้งแต่ 500-1500 ตารางเมตรต่อกรัม โดย Activated carbon นี้จะมีความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะได้

2.5 การดูดซับ (Adsorption)

2.6.1 หลักการ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการบำบัดทั้งน้ำคืดและน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึง โมเลกุลหรือคอลลอยด์ ที่อยู่ในของเหลวหรือแก๊สให้มาเกาะจับและติดบนผิวของ มัน ซึ่งปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายสารจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการนี้ โดย โมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent)

การดูดซับมีความสามารถในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย ที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยอาศัยกลไกทางกายภาพเคมี สารที่สามารถใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัดได้มีหลายชนิด เช่น สี กลิ่น บีโอดี ซีโอดี ยาฆ่าแมลง เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุม มีประสิทธิภาพดี และระบบมีความทนทานต่อสารพิษ ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพ คือต้องการพื้นที่น้อย ไม่มีกลิ่นที่น่ารังเกียจ

การดูดซับที่สำคัญมี 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) การดูดซับทั้ง 2 แบบนี้เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลในชั้นของเหลวเข้าใกล้ และยึดติดกับผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของของแข็งสามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของ โมเลกุลของสารที่อยู่ในของเหลวได้

การดูดซับทางกายภาพเป็นผลมาจากปฏิกิริยา ของแรงวันเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิดคือ แรงกระจาย (London Dispersion Force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับ โมเลกุลของสารดูดซับ การดูดซับแบบนี้เป็นแบบหลายชั้น ซึ่งแต่ละชั้นของ โมเลกุลจะติดอยู่บนชั้น โมเลกุลก่อนหน้านี้ โดยจำนวนของชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลาย ซึ่งจำนวนชั้นของ โมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพทั่วไปจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับทางกายภาพ ขึ้นอยู่กับ

ความแข็งแรงของแรงดูดซับระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ถ้าแรงมีค่าน้อยการหลุดออกของสารถูกดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสารถูกดูดซับและสารดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบเคมี ซึ่งแตกต่างจากการดูดซับแบบกายภาพ กระบวนการนี้จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (Monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ (Irreversible) ส่วนการดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับได้ (Reversible) เนื่องจากการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะกระทำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2-10 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูง โดยจะให้พลังงานประมาณ 15-50 กิโลแคลอรีต่อโมล (Voice และ Weber, 1983)

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท

1. ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ , แมกนีเซียมออกไซด์ และแอคติเวตเตดซีลิกา สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ จับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก
2. ถ่านกัมมันต์ เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะ ประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกรัม
3. ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อจำกัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

2.6.2 กลไกการดูดซับและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecule Transfer)

2.6.2.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน (Faust และ Aly, 1987) ดังนี้

1. การแพร่ภายนอก (External Diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้ม โดยโมเลกุลแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ

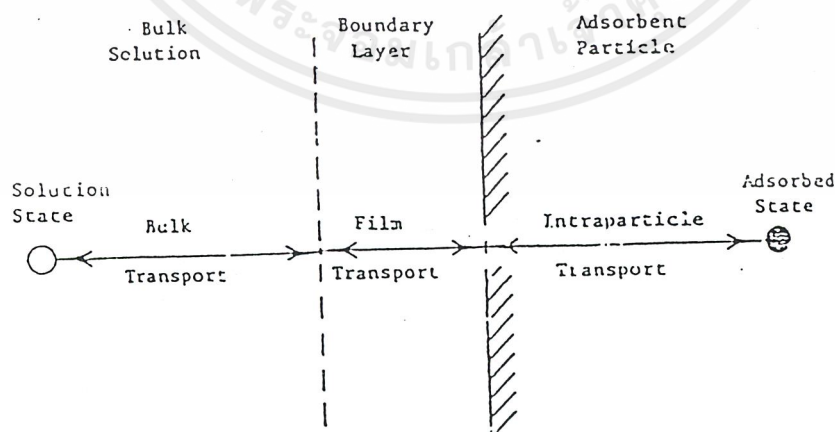
2. การแพร่ภายใน (Internal Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างสารดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ
3. ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface Reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายติดที่ผิวของสารดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นความต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวจึงละเลยไม่ได้

2.6.2.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecule Transfer)

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับของสารจากสารละลาย มี 3 ขั้นตอน คือ

1. การขนส่งอนุภาค (Bulk Transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ ที่ห่อหุ้มสารดูดซับ
2. การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนนี้
3. การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle Transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (Pore Diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน

ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดซับมายังสารดูดซับ แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Eckenfelder, 1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

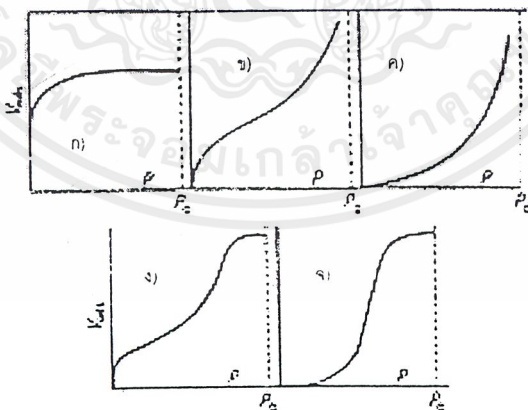
ภายใต้สภาวะการทำงานหนึ่งๆ การขนส่งฟิล์มจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ แต่ ถ้าภายในระบบมีสภาพความปั่นป่วนเพียงพอ ขั้นตอนการขนส่งภายในอนุภาคจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดซับ

2.6.3 การดูดซับที่สภาวะสมดุล (Adsorption Equilibria)

สามารถอธิบายปรากฏการณ์กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นว่า ณ จุดสมดุลของการดูดซับ สมรรถนะของตัวดูดซับ (Adsorption Capacity) สามารถเขียนในรูปความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ ในน้ำที่อุณหภูมิคงที่ โดยเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับ และปริมาณของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับ รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับ มี 5 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งไอโซเทอมรูป ก เป็นระบบที่การดูดซับเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว ส่วนในรูป ข ถึง จ เป็นการดูดซับของโมเลกุลหลายชั้น

มีทฤษฎีหลากหลายที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแสดงไอโซเทอมการดูดซับ ในปัจจุบันยังไม่มีทฤษฎีไหนที่จะอธิบายสมการ และกลไกการดูดซับได้อย่างถูกต้อง จะนำเสนอสมการทั่วไป ดังนี้



รูปที่ 2.9 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน (Faust และ Aly, 1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน

ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) มีสมมติฐานพื้นฐานที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model ดังนี้

- 1) เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น
- 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่สามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระบนผิวของตัวดูดซับได้
- 3) เอนทัลปีของการดูดซับมีค่าเดียวกันสำหรับทุกๆ โมเลกุล
- 4) พลังงานการดูดซับแต่ละบริเวณมีค่าเท่ากัน

สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Faust และ Aly. 1987) แสดงดังสมการที่ (2.29)

$$X = \frac{X_m b C_c}{1 + b C_c} \quad \dots (2.29)$$

เมื่อ X = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

X_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว อย่างสมบูรณ์

C_c = ความเข้มข้นตัวถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

b = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ

จากสมการที่ (2.29) สามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น ได้ดังนี้

$$\frac{C_c}{X} = \frac{1}{b X_m} + \frac{C_c}{X_m} \quad \dots (2.30)$$

หรือ

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_m} + \frac{1}{b X_m C_m} \quad \dots (2.31)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/X$ กับ $1/C_c$ ข้อมูลสมดุลการดูดซับดังแสดงในรูปที่ 2.10 ก และเราสามารถหาค่าคงที่ b และ X_m ได้จากความชันและจุดตัดกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ บี อี ที (Brunauer-Emmett-Teller , BET Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมแบบพัฒนามาจากไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ ใช้อธิบายการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer) โดยมีสมมติฐานดังนี้

- 1) โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่เกิดการเคลื่อนที่ออกจากพื้นผิวของตัวดูดซับ
- 2) เอนทัลปีของการดูดซับมีค่าคงที่สำหรับทุกโมเลกุล
- 3) ทุกโมเลกุลในชั้นมีพลังงานของการดูดซับเท่ากัน
- 4) ชั้นการดูดซับไม่ต้องการการดูดซับที่สมบูรณ์ก่อนเกิดการดูดซับต่อไป

สมการการดูดซับแบบ บี อี ที (Faust และ Aly. 1987) แสดงในสมการที่ (2.32)

$$X = \frac{X_m B C_s}{(C_s - C_s) [1 + (B-1)(C_s/C_s)]} \dots(2.32)$$

เมื่อ	X	=	ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม
	X_m	=	ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการสร้างแผ่นชั้นเดียว มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม
	C_s	=	ความเข้มข้นตัวถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร
	C_s	=	ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายในน้ำที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร
	B	=	ค่าคงที่ของพลังงานของการดูดซับ

จากสมการที่ (2.32) สามารถจัดเรียงเป็นแบบเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\frac{C_s}{(C_s - C_s) X} = \frac{1}{X_m B} + \frac{B-1}{X_m B} \frac{C_s}{C_s} \dots(2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C_e/(C_0 - C_e)X$ กับ C_e/C_0 จะได้เส้นตรงที่มีความชัน $(B-1)/(X_m B)$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $1/X_m B$ กราฟของสมการการดูดซับแบบเบทแสดงในรูปที่ 2.10 ข

2.6.3.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช

ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชใช้กันอย่างแพร่หลาย ในกรณีอธิบายการดูดซับในระบบของของเหลวมีสมการดังนี้ (Faust และ Aly. 1987)

$$\frac{X}{M} = KC_e^{1/n} \quad \dots(2.34)$$

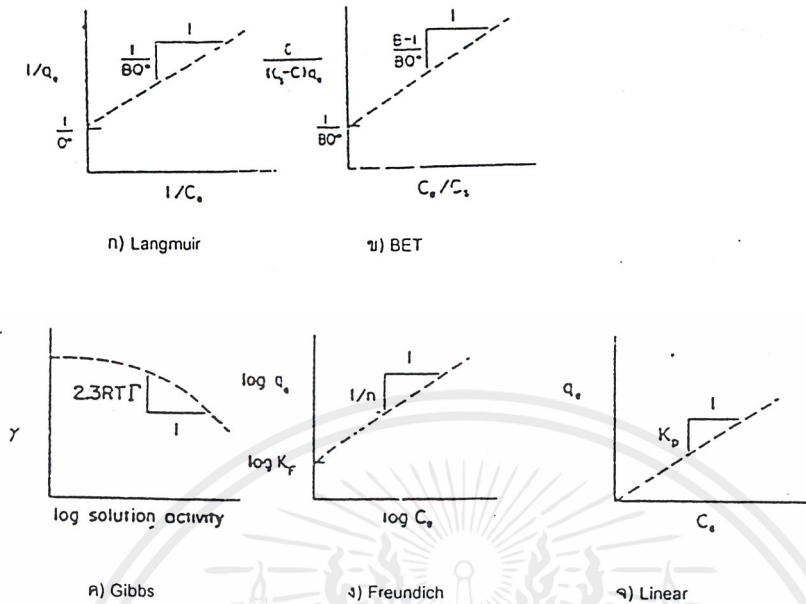
- เมื่อ X = จำนวนของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม
- M = น้ำหนักของสารดูดซับ มีหน่วยเป็นกรัม
- C_e = ความเข้มข้นตัวถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร
- $K, 1/n$ = ค่าคงที่ของระบบ

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นตรงได้ดังนี้

$$\text{Log } (X/M) = \text{log}K + (1/n) \text{log } C_e \quad \dots(2.35)$$

พลอตกราฟระหว่าง $\text{log}(X/M)$ กับ $\text{log } C_e$ จะได้เส้นตรงซึ่งมีความชันเท่ากับ $1/n$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\text{log}K$ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ง ค่า $1/n$ ที่จากการดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยกว่า 1 สำหรับค่า $1/n$ ที่เกือบจะเท่ากับ 1 แสดงถึงความจุของการดูดซับที่ดี

สมการ Freundlich มีประโยชน์มากที่สุดสำหรับการละลายที่เจือจาง ปกติจะใช้กับการดูดซับสิ่งเจือปนในสารละลายบนถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงการหาค่าคงที่ในสมการไอโซเทอมแบบต่างๆ (Faust และ Aly. 1987)

2.6.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

2.6.4.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and Surface Area)

ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับ และพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) อัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนเข้าสู่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ ในทางกลับกันถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาค เป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับ การดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ

2.6.4.2 ลักษณะของสารถูกดูดซับ (Nature of Adsorbate)

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลายอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรง เป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับ ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

2.6.4.3 อัตราเร็วของการปั่นกววน (Mixing Speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ การชนสัง โมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore Diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นกววนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นกววนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์ม เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นกววนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.6.4.4 เวลาสัมผัส (Contact Time)

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสียระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีที่สุด ทั้งนี้ก็จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง

2.6.4.5 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรงค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

กระบวนการดูดซับเป็นเทคนิคหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย โดยตัวดูดซับที่ใช้คือ ไคโตซาน ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ดี

2.7 ไคโตซาน (Chitosan)

2.7.1 แหล่งที่พบ (ภักธราวุธ , 2001)

- เปลือกกุ้ง เปลือกปู แกนปลาหมึก
- ผนังเซลล์ของเห็ดราและสาหร่ายบางสายพันธุ์
- เปลือกหุ้มแข็งของแมลง (chitin + protein complex)
- ไคตินพบครั้งแรกในปี 1811 โดย Braconnot
- ปี 1823 พอลิเมอร์ชนิดนี้ถูกเรียกว่า ไคติน โดย Odier
- คำว่า ไคติน (Chitin) มาจากคำว่า “Chitin” (ในภาษากรีก แปลว่า เกราะหุ้ม)
- ไคตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากเป็นอันดับสองใน โลกกรองจากเซลลูโลส ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต
- ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากปฏิกิริยา deacetylation ของไคติน พบโดยบังเอิญในปี ค.ศ. 1859 โดย Rouget โดยการต้มไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น
- ส่วนใหญ่ไคตินจะอยู่รวมกันกับสารจำพวก โปรตีนและแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม คาร์บอเนต

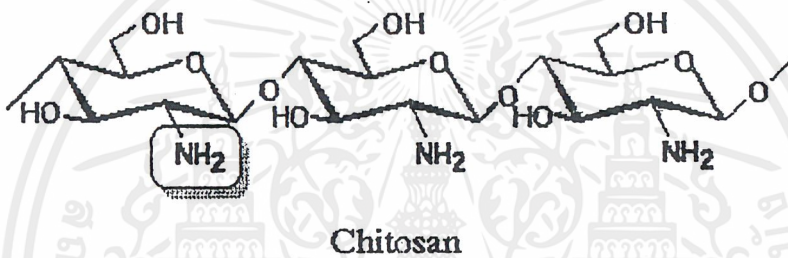
2.7.2 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน

ไคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นตรง มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับเซลลูโลสแตกต่างกันตรงที่มีหมู่ acetylated amino ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 โครงสร้างของไคตินประกอบด้วยหน่วยซ้ำกันของ 2-acetamido-2-deoxy-D-glucose หรือ N-acetyl-D-glucose ชื่อทางเคมีของไคติน คือ Poly β (1 \rightarrow 4)-2-acetamide-2-deoxy-D-glucose

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในธรรมชาติไคตินจะประกอบด้วยหน่วยที่มีหมู่ acetylated amino ประมาณ 84% ส่วนที่เหลืออีก 16% เป็นหน่วยที่กำจัดหมู่ acetyl ออกไป

สำหรับไคโตซานเกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของไคตินโดยการกำจัดหมู่ acetyl โครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำกันของ (1→4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose หรือ D-glucosamine โดยปกติไคโตซานจะประกอบด้วยหน่วยที่กำจัดหมู่ acetyl ออกแล้วต่อหน่วยที่ยังมีหมู่ acetyl อยู่ในอัตราส่วนประมาณ 80:20 ขึ้นกับแหล่งที่มาของไคตินและขั้นตอนการสังเคราะห์ไคโตซาน



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของไคโตซาน

2.7.3 คุณสมบัติของไคโตซาน

2.7.3.1 คุณสมบัติการมีประจุของไคโตซาน

ไคโตซานมีสมบัติความเป็นพอลิเมอร์สูง มีความหนาแน่นของประจุสูง มีความสามารถในการจับกันเป็นกลุ่มได้ดีมาก รวมทั้งสามารถคีเลต(ดูดซับ) กับไอออนของโลหะได้ เช่น ไอออนเหล็ก, ทองแดง แคลเซียม โปรท ตะกั่ว และโครเมียม เป็นต้น ส่วนสารกัมมันตรังสี เช่น ยูเรเนียม พลูโตเนียม เป็นต้น

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สายตรงมีขั้วที่พีเอชเป็นกรด มีความหนาแน่นของประจุสูง มีองค์ประกอบที่เป็นประจุลบ เช่น โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ที่มีประจุลบ เป็นต้น

2.7.3.2 การละลาย

ไคโตซาน ไม่ละลายน้ำ ค้างและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ไคโตซานสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก สำหรับกรดอินทรีย์

เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริกและกรดฟอสฟอริก สามารถละลายโคโตซานได้ แต่ต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงปานกลางและมีการปั่นกววน

โคโตซานค่อนข้างจะมีความจำเพาะต่อคุณสมบัติในด้านการละลายชั้นแรก เมื่ออยู่ในรูปเอมีนอิสระ ($-NH_2$) โคโตซานไม่ละลายน้ำที่มีพีเอชเป็นกลาง ส่วนที่พีเอชเป็นกรดหมู่เอมีนอิสระ ($-NH_2$) จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปเอมีนที่มีประจุบวก (NH_3^+) (Filar และ Wirick, 1978)

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นกับโคโตซานเมื่อพีเอชเปลี่ยนแปลง ถ้าโคโตซานอยู่ในสภาพเป็นกรดซึ่งจะทำให้โลหะไอออนต้องแข่งขันกับไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ในสถานะที่มีความเป็นกรดมากขึ้น อธิบายได้ดังสมการ



เนื่องจากอะตอมไนโตรเจนบนโคโตซานมีคุณสมบัติเหมือนเป็นพื้นที่สำหรับเกิดโคออดิเนชันกับโลหะ โดยโคโตซานทำหน้าที่เป็นลิแกนด์โดยอะตอมไนโตรเจนเป็นอะตอมจ่าย และโลหะไอออนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนคู่ของโคโตซานดังปฏิกิริยา



สรุปที่ภาวะเป็นกรดมาก ๆ ของน้ำชะละลายทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนคู่โคเดี่ยวของอะตอมไนโตรเจนซึ่งเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดพันธะโคออร์ดิเนชันกับโลหะได้น้อยลงเพราะ H_3O^+ จะเกิดการแข่งขันทับการเกิดพันธะโคออร์ดิเนชันของโลหะไอออนจึงลดประสิทธิภาพการกำจัดโลหะไอออนโดยโคโตซาน

2.7.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพของโคโตซาน

โคโตซานไม่มีความเป็นพิษ และเป็นพอร์ติเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ รวมทั้งใช้ในกิจกรรมชีวภาพได้ โดยการเร่งรักษาบาดแผล ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด และกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน

2.7.3.4 คุณสมบัติทางเคมีของโคโตซาน

โคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากประมาณ $1 \times 10^5 - 1.2 \times 10^6$ กรัมต่อโมล ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิตของโคโตซาน เป็นสารพอลิเอมีน (Polyamine) สายตรง ซึ่งมีหมู่อะมิโนสะควกพอที่จะใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการพอร์มตัวอยู่ในรูปเกลือกับกรด

ไคโตซานเมื่อเทียบกับอนุพันธ์ของเซลลูโลส ต่างกันที่หมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 6 องค์ประกอบของไคโตซานประกอบด้วยหมู่อะมิโน และหมู่ไฮดรอกซิล

2.7.3.5 ค่าองศาการกำจัดหมู่อะซิติล (Degree of deacetylation)

ค่าองศาการกำจัดหมู่อะซิติล (Degree of deacetylation) เป็นตัวบ่งชี้ว่าเป็น ไคติน หรือ ไคโตซาน เป็น โคพอลิเมอร์ ถ้าค่าองศาการกำจัดหมู่อะซิติล (Degree of deacetylation) ต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของไคติน ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าองศาการกำจัดหมู่อะซิติล (Degree of deacetylation) สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

2.7.3.6 ความหนืด

ขึ้นกับค่าองศาการกำจัดหมู่อะซิติล (degree of deacetylation) น้ำหนัก โมเลกุล ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ โดยทั่วไปความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายพอลิเมอร์จะมีผลความหนืดที่ต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติลเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลง แต่ค่าความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น

2.7.3.7 ความสามารถในการตกตะกอน Coagulation ability

ไคโตซานเป็นตัวเหนียวน้ำในการสร้างตะกอนและช่วยในการตกตะกอนที่ดี (flocculation and coagulation agent) เนื่องจากมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และพอลิเมอร์อื่นๆ หรือจับกับโลหะหนักโดยไนโตรเจนในหมู่อะมิโนเป็นตัวให้อิเล็กตรอนสร้างพันธะเชิงซ้อนขึ้น หมู่อะมิโนในไคโตซานจะมีประสิทธิภาพในการจับไอออนของโลหะหนักได้ดีกว่าหมู่ acetyl ในไคติน ดังนั้นไคโตซานที่มีค่าองศาการกำจัดหมู่อะซิติล (Degree of deacetylation) สูงจะมีความสามารถในการจับโลหะหนักได้สูงด้วย

2.6.3.8 การสลายตัวของไคโตซาน

- เกิด acid hydrolysis ได้โดยเกิดแบบสุ่ม (random) ได้ oligomer
- Alkaline degradation โดยเริ่มต้นจากปลายสายโซ่ของ โมเลกุล เรียกว่า peeling reaction
- การย่อยสลายโดยการสั่นโดยใช้คลื่นเสียง จะได้ oligomer ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน
- Enzymic degradation เช่น เอนไซม์ Chitinase และเอนไซม์ Lysozyme
- การย่อยสลายทางไฟฟ้า(Thermal degradation)

2.7.4 การนำไคติน-ไคโตซานไปใช้ประโยชน์

2.7.4.1 วัสดุทางการแพทย์

- วัสดุตกแต่ง
- ผิวหนังเทียม
- เยื่อของไตเทียม
- คอนแทคเลนส์

-ไหมเย็บแผล -ตัวควบคุมการปลดปล่อยยา

2.7.4.2 อาหารและเครื่องมือ

- อาหารสำหรับการควบคุมน้ำหนัก อาหารเสริมที่ไม่ให้พลังงานและไม่ดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย
- บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร รวมทั้งใช้เป็น Food stabilizer และสารเติมแต่ง

2.7.4.3 การเกษตร

- สารเคลือบเมล็ดพันธุ์ -ส่วนผสมในยาฆ่าหรือยับยั้งเชื้อ
- ส่วนผสมในอาหารสัตว์ -ส่วนผสมในยาฆ่าแมลง
- พอลิเมอร์อุ้มน้ำใช้ในการเพาะเลี้ยงกล้าพืช -ส่วนผสมในยาฆ่าไส้เดือน
- สารช่วยควบคุมการปลดปล่อยสารเคมีที่ใช้ในทางการเกษตร

2.7.4.4 การบำบัดน้ำเสีย

- เนื่องจากสมบัติความเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์และความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนัก จึงนำมาใช้งานทางด้านบำบัดน้ำเสีย เช่นน้ำคั่ง
- การ recover ของโลหะหนัก เช่น Hg, Pb, Cu เป็นต้น
- การบำบัดน้ำเสียในสระว่ายน้ำและในโรงงานอุตสาหกรรม

2.7.4.5 อุตสาหกรรมกระดาษ

- ปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษและสารช่วยในการยึดติดของเยื่อกระดาษ
- เพิ่มความทนทานของกระดาษ โดยเฉพาะในขณะที่กระดาษเปียก เช่น กระดาษเช็ดมือ ผ้าอ้อมและกระดาษสำหรับอัดรูปถ่าย

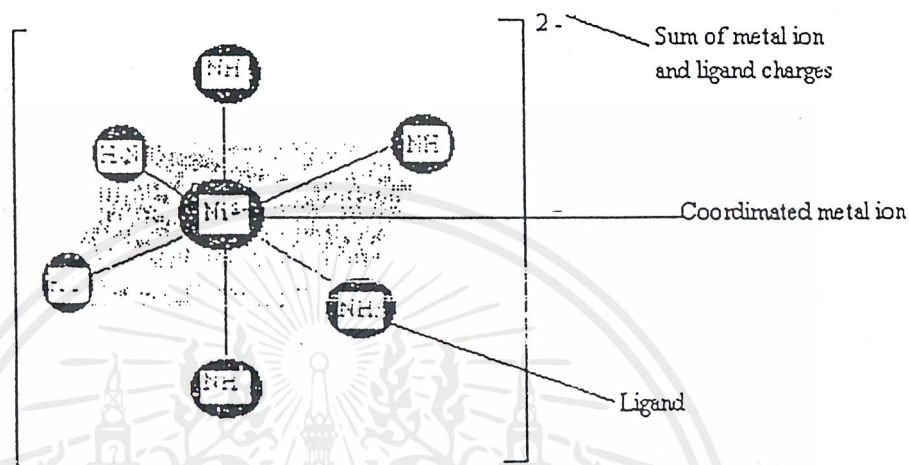
2.7.4.6 ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

- ใช้ประโยชน์ในการแยกโปรตีน
- ใช้ในคอลัมน์ โครมาโตกราฟี และเมมเบรน (Membrane)

2.7.5 สมบัติพิเศษของโคโคซาน

ธาตุทรานซิชันสามารถสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ (coordinate covalent) กับกลุ่มของโมเลกุลหรือไอออนเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อน (complex ion) ที่สามารถจับกับไอออนหรือไอออนเชิงซ้อน อื่นที่มีประจุตรงกันข้ามได้ เกิดเป็น โมเลกุลของเกลือเชิงซ้อนที่เรียกว่าสารประกอบโคออดิเนชัน (coordination compounds) หรือสารเชิงซ้อนโคออดิเนชัน (coordination Complex) หรือ โลหะเชิงซ้อน (metal complex)

ตัวอย่างของสารเชิงซ้อนโคออดิเนชัน แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของสารเชิงซ้อน โคออดิเนชัน

เรียกโมเลกุลหรือไอออนที่ล้อมรอบไอออนของโลหะที่อยู่ตรงกลาง (central metal ion) ว่า ลิแกนด์ (ligands, เป็นคำกริยาที่มีรากศัพท์มาจากภาษาลาตินว่า “ligare” หมายถึงเพื่อจับหรือเพื่อยึด) เรียกอะตอมที่อยู่ในโมเลกุลหรือไอออนของลิแกนด์ที่ยึดโดยตรงกับไอออนของโลหะว่า อะตอมจ่าย (donor atom)

การเกิดสารประกอบ โคออดิเนชัน จะเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส ตามนิยามของลิวอิส โดยลิแกนด์จะประพฤติตัวเป็นเบส (ตัวจ่ายอิเล็กตรอนคู่, electron pair donor) และ โลหะไอออน จะประพฤติตัวเป็นกรด (ตัวรับอิเล็กตรอนคู่, electron pair acceptor)

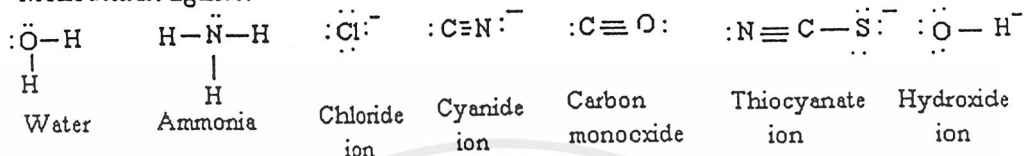
2.7.5.1 ลิแกนด์

ดังได้กล่าวแล้วว่าลิแกนด์เป็นเบสตามนิยามของลิวอิส ซึ่งต้องมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอย่างน้อย 1 คู่ เพื่อใช้ในการสร้างพันธะ โคออดิเนชัน โควาเลนต์กับโลหะไอออน โดยทั่วไปจะแบ่งลิแกนด์ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่

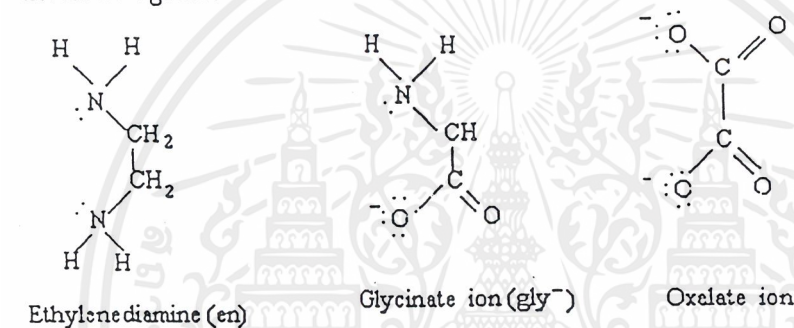
1. โมโนเดนเทต (monodentate) หมายถึง ลิแกนด์ที่มีอะตอมจับเพียงอะตอมเดียว เช่น H_2O , NH_3 , Cl^- ทั้งนี้เพราะ monodentate มีความหมายว่า one tooth หมายถึง ฟันซี่เดียว

2. พอลิเดนเทต (polydentate) หมายถึง ลิแกนด์ที่มีอะตอมจับมากกว่า 1 (polydentate มีความหมายว่า many tooth หมายถึง ฟันหลายซี่) เช่น เอธิลีนไดเอมีน ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ ใช้ตัวย่อว่า en) มี N ที่เป็นอะตอมจับอยู่ 2 อะตอม จึงเรียกว่าเป็นไบเดนเทตลิแกนด์ (bidentate)

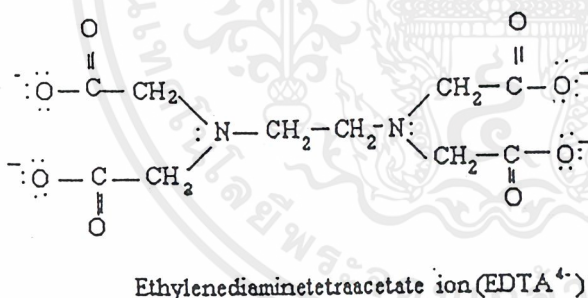
Monodentate ligands:



Bidentate ligands:



~~Tetradentate ligands:~~



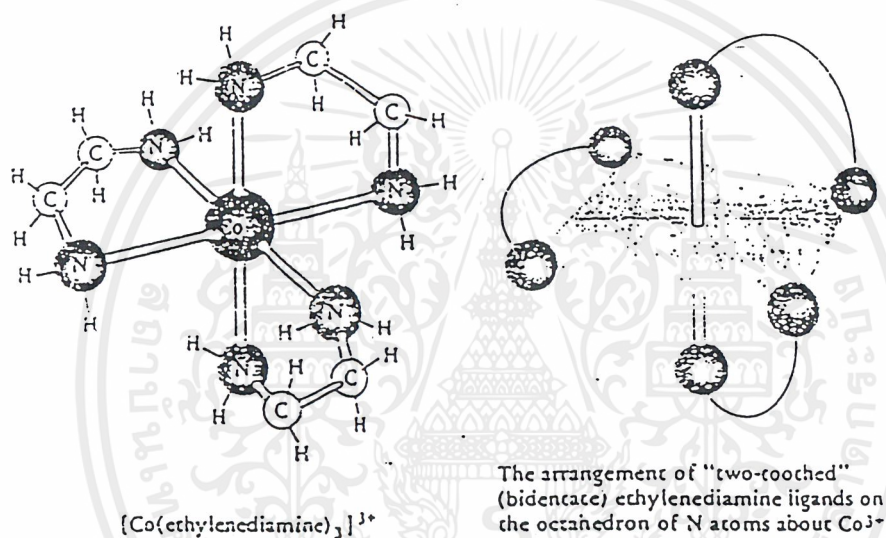
รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของลิแกนด์ที่พบได้ทั่วไป

2.7.5.2 สารประกอบเชิงซ้อนคีเลต

สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะไอออนกับพอลิเดนเทตลิแกนด์ (polydentate ligand) ซึ่งบางครั้งอาจเรียกพอลิเดนเทตลิแกนด์ว่าตัวกระทำคีเลตติง (chelating agent) chelate มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกว่า “Chele” แปลว่า กรงเล็บ หรือกำมปู ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเดนเทตลิแกนด์เป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เมื่อจับกับโลหะจะมีลักษณะคล้ายการโอบจับ หรือหนีบของปูเกิดลักษณะที่เป็นวง เรียกว่า วงคีเลต (chelate ring) เรียกสารหรือไอออนเชิงซ้อนแบบนี้ว่าสารคีเลต หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะคีเลต (metal chelate) ตัวอย่างเช่นการจับของเอริทีนไดเอมีนกับไอออนของ Co(III) ในรูปที่ 2.14



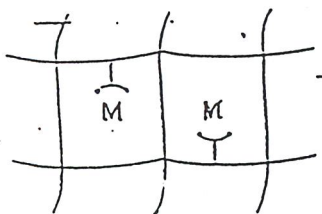
รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของไอออนเชิงซ้อน $[\text{Co(en)}_3]^{3+}$

2.7.5.3 ลักษณะการจับของลิแกนด์บนโครงสร้างของพอลิเมอร์

ลักษณะการจับไอออนโลหะของลิแกนด์บนโครงสร้างของพอลิเมอร์มีอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่

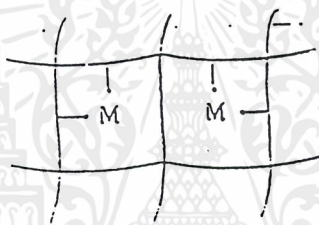
1) พอลิเมอร์โครงสร้างตาข่ายที่มีลิแกนด์ชนิดหลายหมู่ว่องไว (multifunction ligand) อยู่บนโครงสร้างตำแหน่งเดียว แสดงในรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



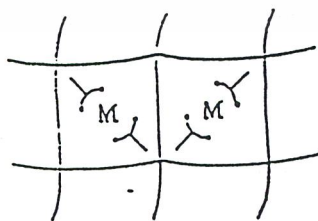
รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะของลิแกนด์ที่มีหลายหมู่วงไว

2) พอลิเมอร์โครงสร้างตาข่ายที่ลิแกนด์ชนิดวงไวเดียว (monofunction liland) อยู่บนโครงสร้างในการเกิดคีเลตกับโลหะ ไอออนใช้ลิแกนด์ใกล้เคียงในการจับไอออน แสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของลิแกนด์ที่มีหมู่วงไวชนิดเดียวกันบนโครงสร้างตาข่ายหลายตำแหน่ง

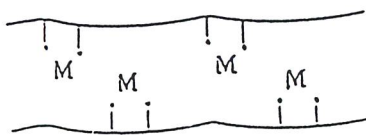
3) พอลิเมอร์โครงสร้างตาข่าย ที่มีลิแกนด์นำหนักโมเลกุลต่ำชนิดหลายหมู่วงไวถูกดูดซับไว้ในโครงสร้าง (chelating adsorbent) แสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะลิแกนด์ที่มีหมู่วงไวถูกดูดซับไว้ในโครงสร้างตาข่ายหลายตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) พอลิเมอร์แบบเชิงเส้น ที่มีลักษณะจับไอออนโลหะของลิแกนด์เกิดขึ้นภายในสายโซ่เดียวกัน (intramolecular chelating) แสดงในรูปที่ 2.18



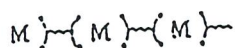
รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะการจับไอออนโลหะภายในสายโซ่

5) พอลิเมอร์แบบเชิงเส้น ที่มีลักษณะการจับไอออนโลหะของลิแกนด์เกิดขึ้นระหว่างสายโซ่ (intermolecular chelating) แสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะการจับไอออนโลหะระหว่างสายโซ่

6) พอลิเมอร์ที่มีโลหะแทรกอยู่ในสายโซ่พอลิเมอร์ (metallopolymer) ลิแกนด์ชนิดมอนอเมอร์ริก (monomeric) หรือ โอลิโกเมอร์ (oligomeric) เชื่อมกับไอออนโลหะในรูปของสะพานไอออน (metal ion bridge form) แสดงในรูปที่ 2.20

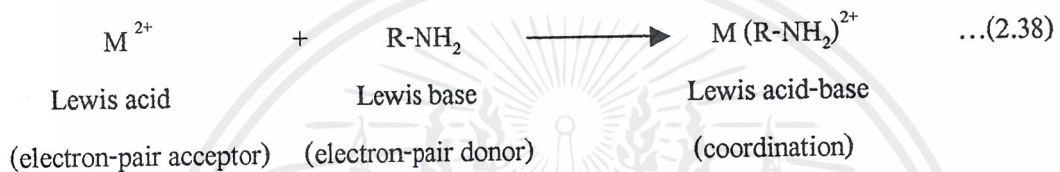


รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะการจับไอออนโลหะในลักษณะสะพานเชื่อมโยง

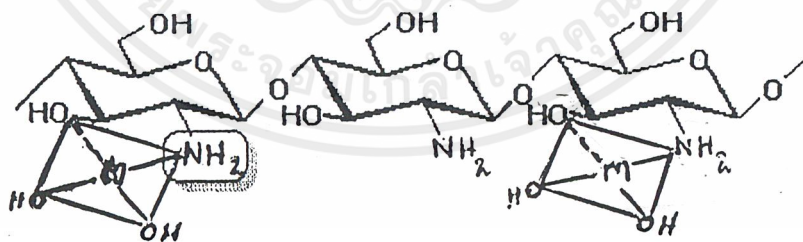
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าการเกิดสารประกอบโคออดิเนชัน จะเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดเบส ตามนิยามของลิวอิสโดยไคโตซานเป็นลิแกนด์ ประพฤติตัวเป็นเบส คือ โมเลกุลที่ล้อมรอบไอออนของโลหะตรงกลางและ เป็นอะตอมที่อยู่ในโมเลกุลของไคโตซาน หรือ ไอออนของลิแกนด์ที่ยึดโดยตรงกับไอออนโลหะ คืออะตอมไนโตรเจน เรียกว่า อะตอมจ่าย (donor atom) ซึ่งเป็นตัวจ่ายอิเล็กตรอนคู่ (electron pair donor) และ โลหะไอออนประพฤติตัวเป็นกรด เป็นตัวรับอิเล็กตรอนคู่ (electron pair acceptor)

ไคโตซาน เป็น Chelating exchanger และ เป็น โคออร์ดิเนตติง โคพอลิเมอร์ ด้วยพันธะโคเวเลนต์ภายในสายโซ่ของไคโตซาน มีสมการเกิดขึ้นดังนี้



เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีความว่องไวต่อคีเลตติงลิแกนด์ (chelating ligand) หรือเป็นมัลติเดนเทตลิแกนด์ (multidentate ligand) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ความสามารถในการใช้งานขึ้นอยู่กับหมู่เอมีน ซึ่งมีโครงสร้างของสารเชิงซ้อนดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างของสารเชิงซ้อนของโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wasay และ คณะ (1999) ได้ทำการศึกษาการแก้ปัญหาลโลหะหนักเป็นพิษในดินด้วยกรดอินทรีย์ เนื่องจากโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินสามารถใช้วิธีการล้างดินในการชะโลหะหนักออกจากดินได้ สารเคมีที่ใช้ล้างดิน เช่น กรดอินทรีย์ กรดอะซิติก ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ กรดอินทรีย์ในการชะโลหะออกจากดิน เช่น Citrate , tatarate , EDTA และ DTPA จากผลการทดลองปรากฏว่า Citrate สามารถกำจัดโลหะที่ pH 5 เปรือใช้ในการชะ Cr, Mn, Pb และ Hg เป็น 54, 69, 85 และ 96 % ตามลำดับ ส่วน Tartarate กำจัด Pb ได้ 86% ที่ pH ในช่วง 2-7 ส่วน Cr, Mn และ Hg เป็น 41, 54 และ 84 % ตามลำดับ ที่ pH 4.3 เพราะฉะนั้นทั้ง Citrate และ tatarate มีประสิทธิภาพในการกำจัดความเป็นพิษของ Pb และ Hg ได้สูง ส่วน EDTA และ DTPA ประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ได้ 99 % แต่กำจัดโลหะอื่นได้น้อยกว่า 30 %

Farrah และ Pickering (1978) ได้ศึกษาการสกัดไอออนของโลหะหนักในดิน พบว่าสารที่ใช้ในการสกัดในงานวิจัยนี้คือ Citrate และ EDTA เพื่อใช้ในการกำจัดโลหะหนัก เช่น Cu, Zn, Cd, Ni, Pb และ Cr จากดินปนเปื้อนด้วย pH ธรรมชาติ โดย EDTA 0.5 M สามารถกำจัด Cu, Zn, Cd และ Pb ได้ 90 % แต่กำจัด Ni และ Cr กำจัดได้ 45% ส่วน Citrate 0.26 M สามารถกำจัด Cu, Zn, Cd และ Ni ได้ 50- 80 % แต่กำจัด Pb และ Cr กำจัดได้ 40 % ที่ pH 5-7

Deans และ Dixon (1992) ได้ศึกษาตะกั่วและทองแดง โดยใช้พอลิเมอร์ชีวภาพ พบว่าพอลิเมอร์สามารถดูดซับโลหะได้เพราะมีหมู่ฟังก์ชัน เช่น OH^- , COOH , NH_2 เป็นต้น จึงใช้สมบัตินี้ในการจับโลหะด้วยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวได้ เช่น Chitin, Chitosan, Cellulose เป็นต้น และพบว่าไคโตซานและอนุพันธ์ของไคโตซานมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะได้ดี

Arup และ คณะ (1991) ได้ศึกษาความสามารถการจับโลหะในสารละลายของอะตอมไนโตรเจนซึ่งเป็นอะตอมง่าย พบว่าการที่อะตอมไนโตรเจนสามารถจับกับโลหะหนักได้ เพราะมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวทำหน้าที่เป็นอิเล็กตรอนง่ายจับ กับ โลหะซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน เพราะฉะนั้นไคโตซานจึงเกิดคุณสมบัติลัดกับโลหะได้

Ngah (1998) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับทองแดงบนไคโตซาน Dowex A-1 และ Zerolit 225 พบว่า ไคโตซานสามารถดูดซับทองแดงได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ Dowex A-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Zerolit 225 และ เมื่อศึกษาผลของ pH ต่อการดูดซับ ทองแดงบนไคโตซาน พบว่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงโดยไคโตซาน Dowex A-1 และ Zerolit 225 เป็น 6.2 ,8.6 และ 4.1 ตามลำดับ

วราพร (2000) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์ของไคโตซานดักจับตะกั่วในน้ำเสียโดยศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นและรูปแบบของไคโตซานที่ใช้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการจับตะกั่วสูงสุดโดยใช้รูปแบบของสารละลายตะกั่วที่เตรียมขึ้น และนำผลที่ได้ไปทดลองใช้ดักจับตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ผลจากการศึกษาพบว่า ไคโตซานสามารถลดระดับตะกั่วในน้ำได้ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการดักจับตะกั่ว คือ 6 และ 7 เมื่อความเข้มข้นของไคโตซานสูงขึ้นประสิทธิภาพในการจับตะกั่วจะสูงขึ้นด้วยไคโตซานมีประสิทธิภาพในการดักจับตะกั่วได้ดีกว่าสารละลายไคโตซาน เมื่อนำไคโตซานไปทดลองใช้ดักจับตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าสามารถลดสารตะกั่วได้ แต่ประสิทธิภาพจะต่ำกว่าเมื่อทดลองใช้กับสารละลายตะกั่วที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในน้ำเสียอาจมีไอออนของโลหะอื่นที่สามารถแย่งจับกับไคโตซานได้ด้วย จากการศึกษาที่น่าจะสามารถแนะนำให้นำไคโตซานในการบำบัดน้ำเสียที่มีตะกั่วปนอยู่ได้

ศักดิ์ (1995) ได้ศึกษาความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะโดยใช้ไคโตซาน พบว่า ความสามารถในการดูดซับโลหะไอออนของไคโตซานจะขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนโลหะและชนิดของไคโตซาน โดยไคโตซานที่ใช้เวลาในการกำจัดหมู่อะเซทิลนานจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออนโลหะและค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนมาก ซึ่งไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงก็จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออนโลหะและความจุของการแลกเปลี่ยนไอออน สูงกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เมื่อเปรียบเทียบชนิดของโลหะ พบว่าในสารละลายไอออนของโลหะ พบว่าในสารละลายไอออนโลหะเพียงชนิดเดียวมีลำดับความสามารถในการถูกดูดซับดังนี้ $Cu^{2+} > Pb^{2+}$, $Zn^{2+} > Cd^{2+}, Fe^{3+}$ และ ในสารละลายไอออนของโลหะผสมนั้นจะมีลำดับความสามารถในการถูกดูดซับดังนี้ $Cu^{2+} > Zn^{2+}$, $Pb^{2+} > Cd^{2+}, Fe^{3+}$

Ruey-Shin และ คณะ (1999) ได้ทำการศึกษาการดูดซับทองแดงโดยใช้ไคโตซานในสารละลายที่เติมคีเลตติ้งเอเจนต์ (chelating agent) พบว่าการเติมตัวคีเลตติ้งทำให้การดูดซับของไคโตซานมีประสิทธิภาพลดลง โดยความสามารถของการดูดซับโลหะหนักของไคโตซานลดลงตามความแรงของตัวคีเลตติ้งตามลำดับ ดังนี้ คือ $EDTA > critic acid$, $tartarate > gluconate$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ และเมื่อเติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมกับคีเลตดึงเอเจนต์การดูดซับจะลดลงอีก ยกเว้น gluconate ส่วน pH ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับของแดงในสารละลายที่มี EDTA , citric acid , tartarate และ gluconate เป็น 3.1-4.2 , 5.0-5.8 , 5.0-6.0 และ 5.2-5.8 ตามลำดับ

Udaybaskar และ คณะ ได้ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างโครเมียมเฮกซะวาเลนท์กับ ไคโตซาน โดยทดลองผลของ pH ที่มีต่อการดูดซับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์โดยใช้ไคโตซาน พบว่าเมื่อ $\text{pH} > 6$ การกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในน้ำเสียโดยใช้ไคโตซานมีประสิทธิภาพลดลง ซึ่งเกิดจากการแลกเปลี่ยนอย่างรวดเร็วของโมเลกุลไคโตซานระหว่าง deprotonation (R-NH_2) และ protonation (R-NH_3^+) และไคโตซานสามารถกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ได้ถึง 80% ภายในเวลาเพียง 1 ชั่วโมงเท่านั้น

สุมาลัย และคณะ (1997) ได้ศึกษาการผลิตไคโตซานจากหัวกุ้งกุลาดำและการใช้ประโยชน์ในการดูดซับโลหะหนัก พบว่าเนื่องจากว่าอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้าปล่อยน้ำทิ้งที่มีไอออนของโลหะ Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , CN^+ และ Pb^{2+} อยู่ในปริมาณประมาณ 50 ส่วนในล้านส่วน ที่ความเป็นกรดต่าง 4-6 ดังนั้นจึงทดลองประสิทธิภาพการดูดซับโลหะของไคโตซานที่ผลิตได้ในสารละลายซัลเฟตของโลหะ Cu^{2+} , Ni^{2+} และ Zn^{2+} ที่ความเป็นกรดต่าง 5 เปรียบเทียบกับไคโตซานชั้นคุณภาพดีจากต่างประเทศสามารถดูดซับ Cu^{2+} , Ni^{2+} และ Zn^{2+} ได้คิดเป็นร้อยละ 53.85 , 13.82 และ 18.89 ตามลำดับ ส่วนไคโตซานที่ผลิตจากหัวกุ้งมีประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 65 , 22 และ 30 ตามลำดับ ดังนั้นแสดงว่าประสิทธิภาพการดูดซับไอออนของโลหะทั้ง 3 ชนิด สูงกว่าไคโตซานที่นำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นในการผลิตไคโตซานจากหัวกุ้งกุลาดำได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์เดียวกับไคโตซานชั้นคุณภาพดีจากต่างประเทศและมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักใกล้เคียงกัน

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินการ

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์

- 1.เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer บริษัท Shimudzu รุ่น AA-680
- 2.เครื่อง Small Bench Centrifuge รุ่น VERISOEED
- 3.เครื่อง ไมโครเวฟสำหรับย่อยโลหะ
- 4.เครื่องเขย่าสาร (Orbital Shaker) Gallenkamp รุ่น A007452
- 5.เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) Denver รุ่น 215 pH Meter
- 6.เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบละเอียด Precisa 205A
- 5.กรวย
- 6.ชุดกรอง
- 7.ขวดรูปชมพู่
- 8.ปิเปต
- 9.บีกเกอร์

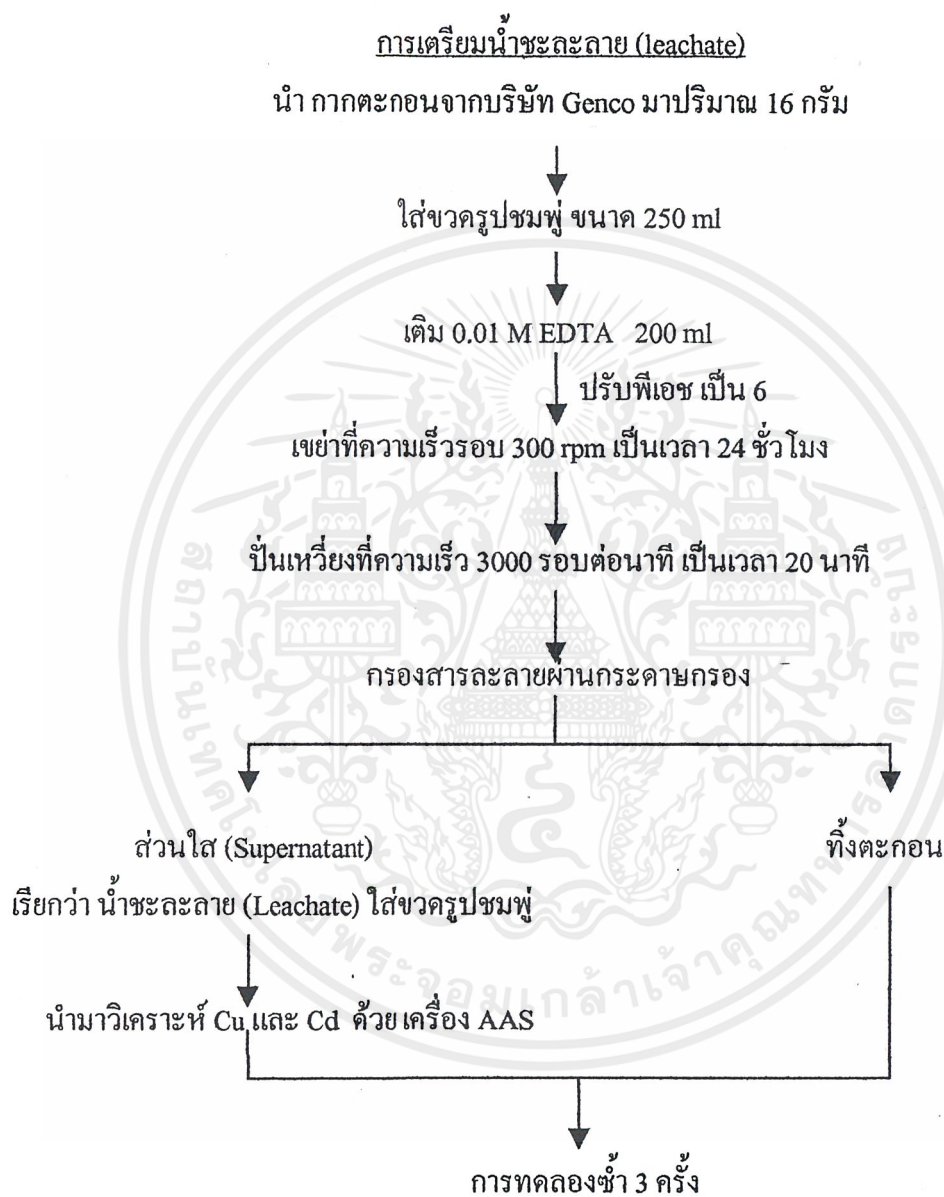
สารเคมี

- 1.สลิคค์จากบริษัท Gengo
- 2.เกลือโคโคซาน
- 3.โซเดียมไฮดรอกไซด์ , Analytical grade ของบริษัท Carlo erba
- 4.กรดไฮโดรคลอริก ,Analytical grade ของบริษัท Carlo erba
- 5.กรดไนตริกเข้มข้น,Analytical grade ของบริษัท Carlo erba
- 6.EDTA disodium salt Analytical grade ของบริษัท บริษัท Merck
- 7.สารละลายมาตรฐานแคดเมียม และทองแดง,Spectro Grade ของ Carlo erba

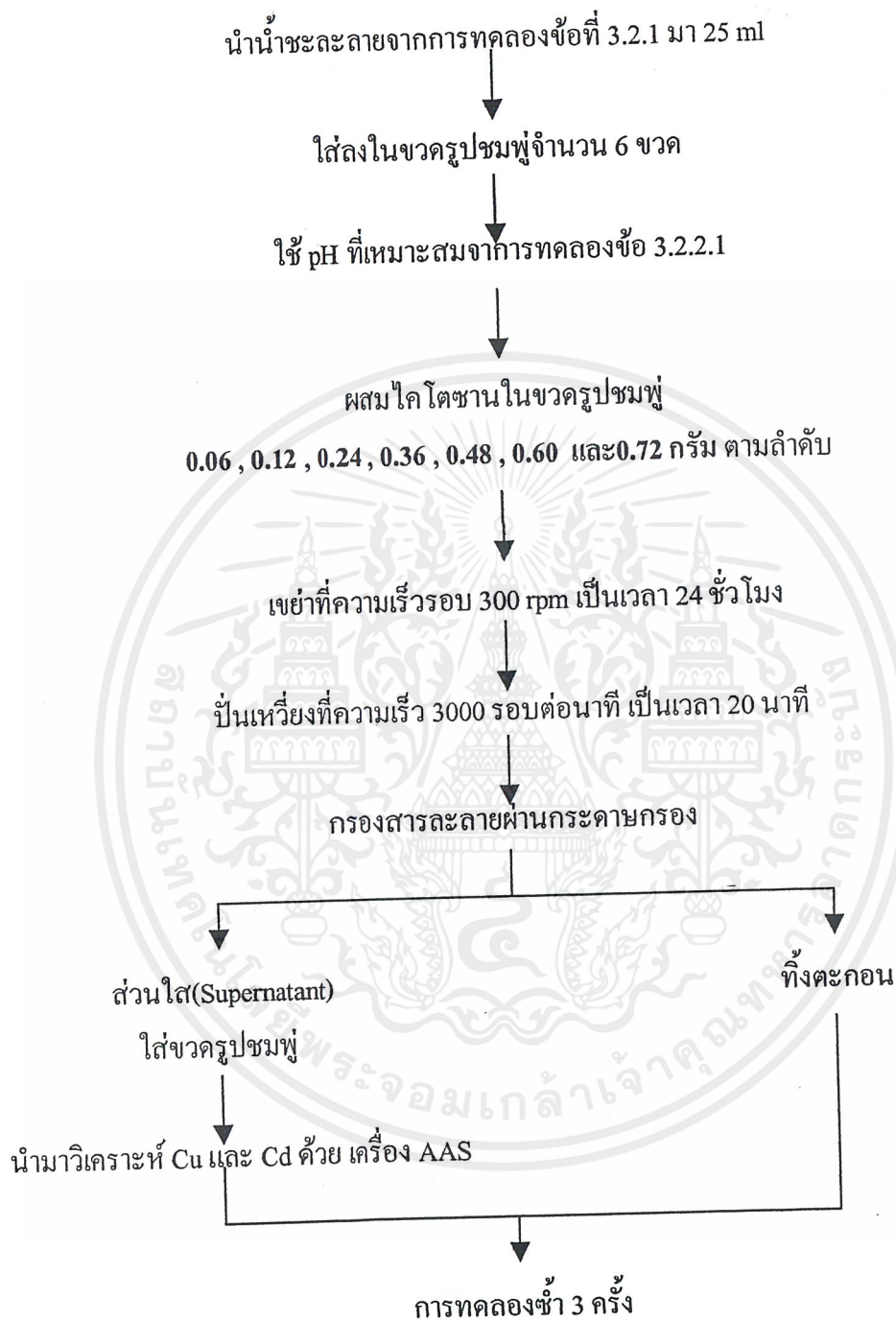
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษาปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำชะละลายจากกากตะกอน



3.2.2.2 ศึกษาปริมาณโคโคซานที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.3 ศึกษาเวลาที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม และทองแดงในน้ำชะละลายจากกากตะกอน

เนื่องจากในกากตะกอนจากบริษัท Gengo ประกอบด้วยธาตุหลายชนิดธาตุที่สนใจคือ ทองแดง และแคดเมียม ซึ่งเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง

จากการทดลองแสดงว่าการล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะสามารถทำได้ โดยการนำกากตะกอนมาผ่านกระบวนการล้างด้วยสารคีเลตติง(chelateing agent) คือ EDTA 0.01 M ทำให้โลหะที่ปนเปื้อนถูกชะออกจากกากตะกอนซึ่งมีพันธะที่แข็งแรงได้

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะล้างกากตะกอนด้วย EDTA การเกิดคีเลตระหว่าง chelating agent กับ โลหะไอออนเป็นดังนี้



ตารางที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะในน้ำชะละลาย

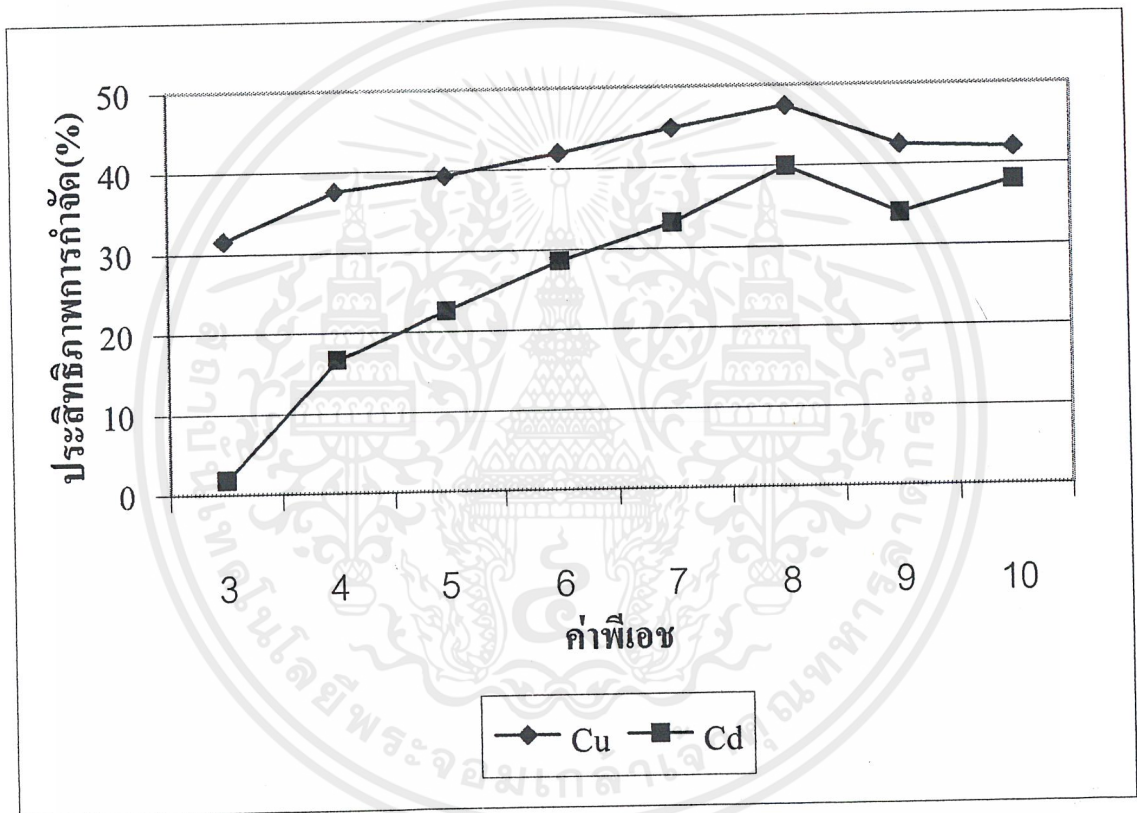
ชนิดของไอออนโลหะ	มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียม	1.09
ทองแดง	65.78

จากตารางที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย ที่ทำการทดลอง 18 ครั้ง ซึ่งผลอยู่ที่ตารางที่ ก.1 (ภาคผนวก ก) ปรากฏว่ามีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของทองแดงและแคดเมียมเป็น 65.78 และ 1.09 ตามลำดับ และในสารละลายที่ถูกชะละลายจากกากตะกอนมีความเข้มข้นของทองแดงมากกว่าแคดเมียม

4.2 ผลการศึกษาการดูดซับแคดเมียมและทองแดงในน้ำชะละลาย

4.2.1 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ แคดเมียมและทองแดง

การศึกษากการดูดซับแคดเมียม และทองแดง โดยการปรับพีเอชตั้งแต่ 3 ถึง 10 ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ปริมาณโคโคซาน 0.5 กรัม เขย่าด้วยอัตราเร็วคงที่ซึ่งความสามารถในการกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน แสดงดังกราฟรูปที่ 4.1 และตารางที่ ก.2 (ภาคผนวก ก) ดังนี้



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง และแคดเมียมกับค่าพีเอชต่างๆกัน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นทองแดงและแคดเมียมเท่ากับ 65.78 และ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำชะละลาย

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดง โดยปรับค่าพีเอชตั้งแต่ 3 ถึง 10 ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ปริมาณโคโคซาน 0.5 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดงเท่ากับ 65.78 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดที่ค่าพีเอชต่าง ๆ แสดงดังกราฟรูปที่ 4.1 และตารางที่ ก.2 (ภาคผนวก ก) โดยจากการทดสอบทางสถิติโดยวิธี ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่าพีเอชเป็น 3 ถึง 10 พบว่าค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าค่าพีเอชของน้ำชะละลาย (leachate) มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงคือประสิทธิภาพในการกำจัดที่พีเอช 3, 4, 5, 6 และ 7 การกำจัดจะมีแนวโน้มการกำจัดสูงขึ้นโดยประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 31.54, 37.57, 39.39, 42.03 และ 44.90 ตามลำดับ สำหรับที่พีเอช 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 47.49 ส่วนที่พีเอช 9 และ 10 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 42.52 และ 42.09 ตามลำดับ

ค่าพีเอชของน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชของน้ำชะละลายเพิ่มขึ้น การเลือกพิจารณาที่พีเอช 8 เพราะมีประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงที่ดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 47.49 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดงประมาณเท่ากับ 65.78 มิลลิกรัมต่อลิตร จากกราฟรูปที่ 4.1 และตารางที่ ก.2

การกำจัดทองแดงเกิดจากการดูดซับเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างทองแดง กับอิเล็กตรอนคู่ของอะตอมไนโตรเจนของหมู่อะมิโนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอยู่ในโมเลกุลของโคโคซาน ซึ่งการเกาะยึดกันของทองแดงบนผิวของโคโคซานเป็นดังสมการต่อไปนี้



เมื่อค่าพีเอชของสารละลายเปลี่ยนแปลงจึงมีผลต่อการดูดซับทองแดงบนโคโคซาน โดยที่พีเอชเพิ่มขึ้นจาก 3 ถึง 8 พบว่าการดูดซับทองแดงบนโคโคซานเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มค่าพีเอชเหมือนเป็นการเพิ่มอิเล็กตรอนคู่โคโคเดียนในรูปอะตอมไนโตรเจนเป็นอะตอมจ่ายมีหน้าที่เป็นลิแกนด์การเกิดคีเลตกับทองแดงในน้ำชะละลาย และที่พีเอชต่ำกว่า 8 ลงมาพบว่าโคโคซานอยู่ในสภาพเป็นกลาง และกรดซึ่งจะทำให้ทองแดงต้องแข่งขันกับไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ในสภาวะที่มีความเป็นกรดมากขึ้น อธิบายได้ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นที่สภาวะเป็นกรดของน้ำชะละลายทำให้ความหนาแน่นของ อิเล็กตรอนคู่โคเวเลนต์ของอะตอมใน โดเจนซึ่งเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดพันธะ โคออดิเนชันกับ โลหะ ได้น้อยลงประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงบนไคโตซานจึงลดลงที่สภาวะเป็นกรด

สำหรับที่พีเอช 9 และ 10 จากกราฟที่ 4.1 พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงบนไคโตซานเนื่องจากเมื่อพีเอชมากกว่า 8 ทองแดงจะเกิดการตกตะกอนอยู่ในรูป $\text{Cu}(\text{OH})_2$ จึงลดความสามารถในการดูดซับทองแดงบนไคโตซานลง รวมทั้งที่สภาวะเป็นด่างจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการดูดซับที่ผิวของทองแดงบนผิวของโลหะออกไซด์ในน้ำชะละลายเกิดได้มากขึ้นจนทำให้ลดประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงบนผิวไคโตซานลงได้

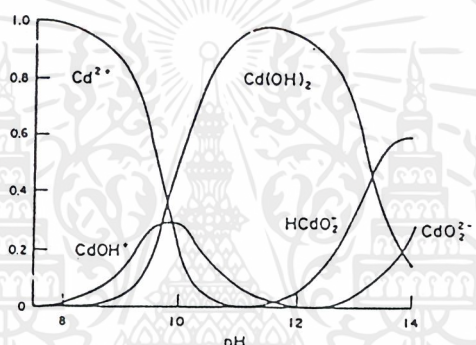
จากผลการทดลองปรากฏว่าที่สภาวะเป็นกรดและเบสมากเกินไปจึงไม่เหมาะสมต่อการดูดซับทองแดงบนผิวของไคโตซานดังนั้นจึงเลือกพีเอชที่เหมาะสมเป็น 8

4.2.1.2 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมในน้ำชะละลาย

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม โดยปรับค่าพีเอชตั้งแต่ 3 ถึง 10 ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ปริมาณไคโตซาน 0.5 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียมเท่ากับ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดที่ค่าพีเอชต่าง ๆ แสดงดังกราฟรูปที่ 4.1 และตารางที่ ก.2 (ภาคผนวก ก) โดยจากการทดสอบทางสถิติโดยวิธี ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่าพีเอชเป็น 3 ถึง 10 พบว่าค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าค่าพีเอชของน้ำชะละลาย (leachate) มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมคือประสิทธิภาพในการกำจัดที่พีเอช 3 มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 1.79 ส่วนที่พีเอช 4, 5, 6 และ 7 มีประสิทธิภาพการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 16.67, 22.62, 28.57 และ 33.14 ตามลำดับ สำหรับที่พีเอช 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมสูงสุดเป็นคิดเป็นร้อยละ 39.92 ส่วนที่พีเอช 9 และ 10 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแนวโน้มน่าจะคิดเป็นร้อยละ 33.95 และ 38.00 ตามลำดับ

ดังนั้นค่าพีเอชของน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชของน้ำชะละลายเพิ่มขึ้น การเลือกพีเอชที่พีเอช 8 เพราะมีประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมที่ดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 39.92 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียมประมาณเท่ากับ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร จากกราฟรูปที่ 4.1 และตารางที่ ก.2 (ภาคผนวก ก)

เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมสูงขึ้นนั้น สามารถพิจารณาจากสมการการละลายน้ำ (Hydrolysis) ของทองแดง คือ



รูปที่ 4.3 แสดงไดอะแกรมของ Cadmium Hydroxy Species ที่ค่าพีเอชต่างๆ (Fergusson, 1990)

เมื่อพิจารณาจากกราฟแสดงการแตกตัวของแคดเมียมในน้ำจะละลายที่ค่าพีเอชต่างๆ ดังรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเปลี่ยนแปลงไป ทำให้แคดเมียมในสารละลายของโลหะแคดเมียมจะสามารถอยู่ในรูปใดรูปหนึ่งได้หลายรูป โดยทั่วไปแคดเมียมที่อยู่ในน้ำจะละลายจะเป็นแคดเมียมในรูปอิสระ (Cd^{2+}) เมื่อค่าพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้นแคดเมียมอาจเปลี่ยนรูปไปเป็น CdOH^+ , Cd(OH)_2 , Cd(OH)_3^- และ Cd(OH)_4^{2-} ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของน้ำจะละลายที่ค่าพีเอช 8 ปริมาณ Cd^{2+} จะลดลง และเปลี่ยนรูปเป็นแคดเมียมไฮดรอกไซด์ (CdOH^+) ขึ้นมาแทน และเมื่อค่าพีเอชมากกว่า 10 CdOH^+ ก็จะลดลงและเกิดตะกอน Cd(OH)_2 ขึ้น

การกำจัดแคดเมียมเกิดจากการดูดซับเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างแคดเมียม กับอิเล็กตรอนคู่ของอะตอมไนโตรเจนของหมู่อะมิโนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอยู่ในโมเลกุลของไคโตซาน ซึ่งการเกาะยึดกันของแคดเมียมบนผิวของไคโตซานเป็นดังสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ดังนั้นเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเปลี่ยนแปลงจึงมีผลต่อการดูดซับแคดเมียมบนไคโตซาน โดยที่พีเอชเพิ่มขึ้นจาก 3 ถึง 8 พบว่าการดูดซับแคดเมียมบนไคโตซานเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มค่าพีเอชเหมือนเป็นการเพิ่มอิเล็กตรอนคู่โคโคเดี่ยวในรูปอะตอมไนโตรเจน เป็นอะตอมง่ายมีหน้าที่เป็นลิแกนด์ในการเกิดคีเลตกับแคดเมียมในน้ำจะละลาย และที่พีเอชต่ำกว่า 8 ลงมาพบว่าไคโตซานจะอยู่ในสภาพเป็นกลาง และกรดซึ่งจะทำให้แคดเมียมต้องแข่งขันกับไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ในสถานะที่มีความเป็นกรดมากขึ้น อธิบายได้ดังสมการที่ (4.4)

ดังนั้นที่สภาวะเป็นกรดของน้ำจะละลายทำให้ความหนาแน่นของ อิเล็กตรอนคู่โคโคเดี่ยวของอะตอมไนโตรเจน ซึ่งเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดพันธะโคออดิเนชันกับโลหะ ได้น้อยลงประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียมบนไคโตซานจึงลดลงที่สภาวะเป็นกรดเช่นเดียวกับทองแดง

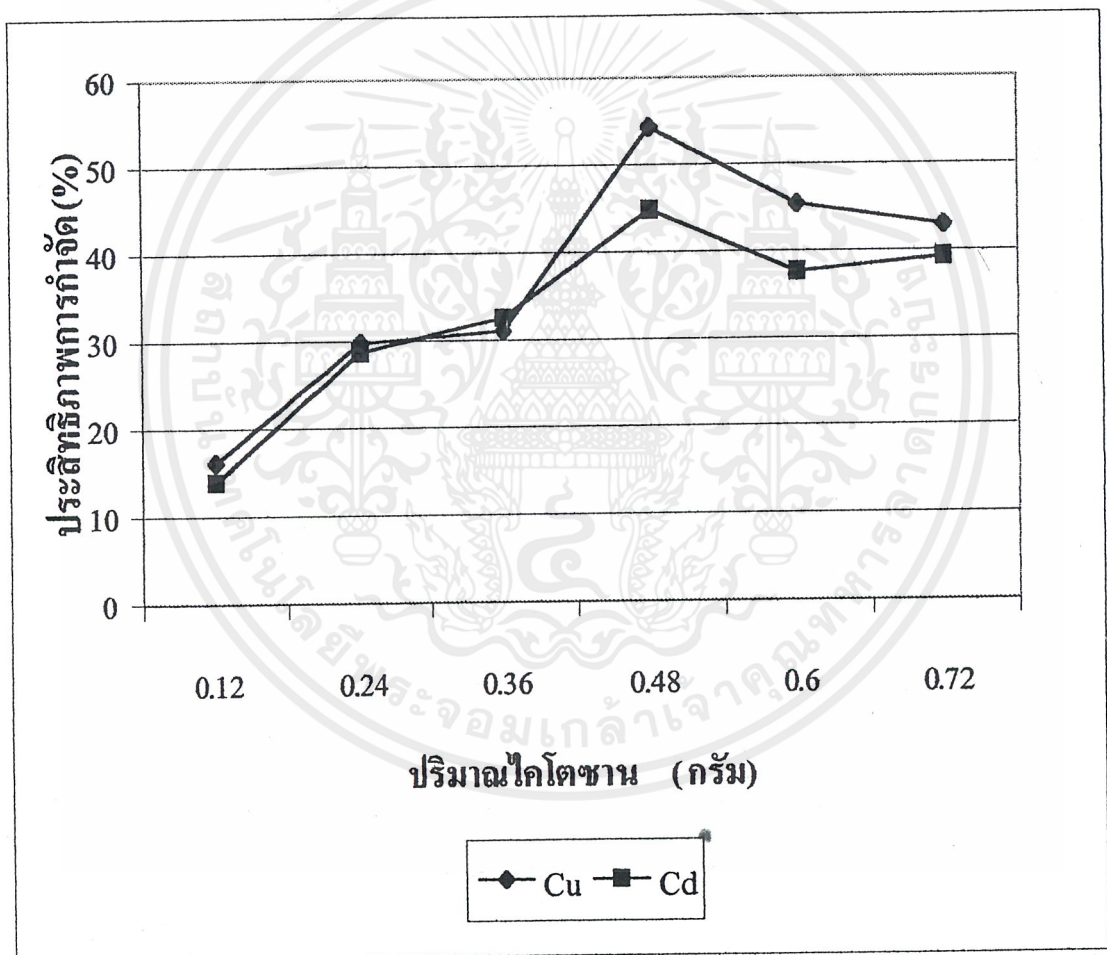
เมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับทองแดง กับแคดเมียม พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโลหะทั้งสองสามารถดูดซับได้ดีที่สุดที่พีเอช 8 แต่เปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงคิดเป็นร้อยละ 47.49 และแคดเมียมคิดเป็นร้อยละ 39.92 สำหรับสาเหตุที่เปอร์เซ็นต์การดูดซับทองแดงมากกว่าแคดเมียม เนื่องจากไอออนโลหะแต่ละชนิดถูกดูดซับไม่เท่ากัน มีสาเหตุมาจากทองแดงมีขนาดของในสารละลาย และความหนาแน่นของประจุ (charge density) คือ ประจุ / รัศมีไอออนมากกว่าแคดเมียม ซึ่งดูได้จากตารางที่ 4.2 โดยพบว่าโลหะไอออนที่มีความหนาแน่นประจุสูงจะช่วยเพิ่มแรงดึงดูดทางไฟฟ้ากับประจุบนลิแกนด์ได้ดีทำให้โมเลกุลเชิงซ้อนที่เกิดมีความเสถียรมากขึ้น

ตารางที่ 4.2 แสดงรัศมีโลหะไอออนและความหนาแน่นประจุ (ศักดิ์, 1995)

ชนิดของโลหะ	รัศมีไอออน(pm)	ความหนาแน่นประจุ $\times 10^{10}$
ทองแดง(Cu^{2+})	73	2.74
ตะกั่ว(Pb^{2+})	86	2.33
สังกะสี(Zn^{2+})	75	2.67
แคดเมียม(Cd^{2+})	65	2.11

4.2.2 ผลการศึกษาปริมาณโคโคซานที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมและทองแดง

การศึกษาการดูดซับแคดเมียม และทองแดง โดยแปรค่าปริมาณโคโคซานเป็น 0.12 , 0.24 , 0.36 , 0.48 , 0.60 และ 0.72 กรัม ตามลำดับ ปรับพีเอชเป็น 8 ซึ่งเป็นสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักโดยโคโคซาน แล้วเขย่าด้วยความเร็วคงที่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน แสดงดังกราฟรูปที่ 4.4 และตารางที่ ก.3 (ภาคผนวก ก) ดังนี้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง และแคดเมียมกับปริมาณโคโคซานต่างๆ กันเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นทองแดงและแคดเมียมเท่ากับ 65.78 และ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2.2.1 ผลการศึกษาปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำชะละลาย

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดง โดยแปรค่าปริมาณไคโตซานเป็น 0.12 , 0.24 , 0.36 , 0.48 , 0.60 และ 0.72 กรัม ตามลำดับ ปรับพีเอชเป็น 8 ซึ่งเป็นสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักโดยไคโตซาน ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดงเท่ากับ 65.78 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดที่ปริมาณไคโตซานต่าง ๆ กัน แสดงดังกราฟรูปที่ 4.4 และตารางที่ ก.3 (ภาคผนวก ก) พบว่าเมื่อปริมาณไคโตซานต่างๆ กันมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง คือประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงที่ปริมาณไคโตซานเป็น 0.12 , 0.24 และ 0.36 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 16.2 , 29.80 และ 31.09 ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อปริมาณไคโตซานเท่ากับ 0.48 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 54.24 เนื่องจากการดูดซับเกิดขึ้นสูงสุดระหว่างปริมาณไคโตซานกับปริมาณน้ำชะละลาย 25 มิลลิตร แต่เมื่อการดูดซับเกิดขึ้นสูงสุดแล้วพื้นที่ผิวในการดูดซับแคดเมียมของไคโตซานจะอิ่มตัวจึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงลดต่ำลงคิดเป็นร้อยละ 45.37 และ 42.94 ที่ปริมาณไคโตซาน 0.60 และ 0.72 กรัม ตามลำดับ

4.2.2.2 ผลการศึกษาปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมในน้ำชะละลาย

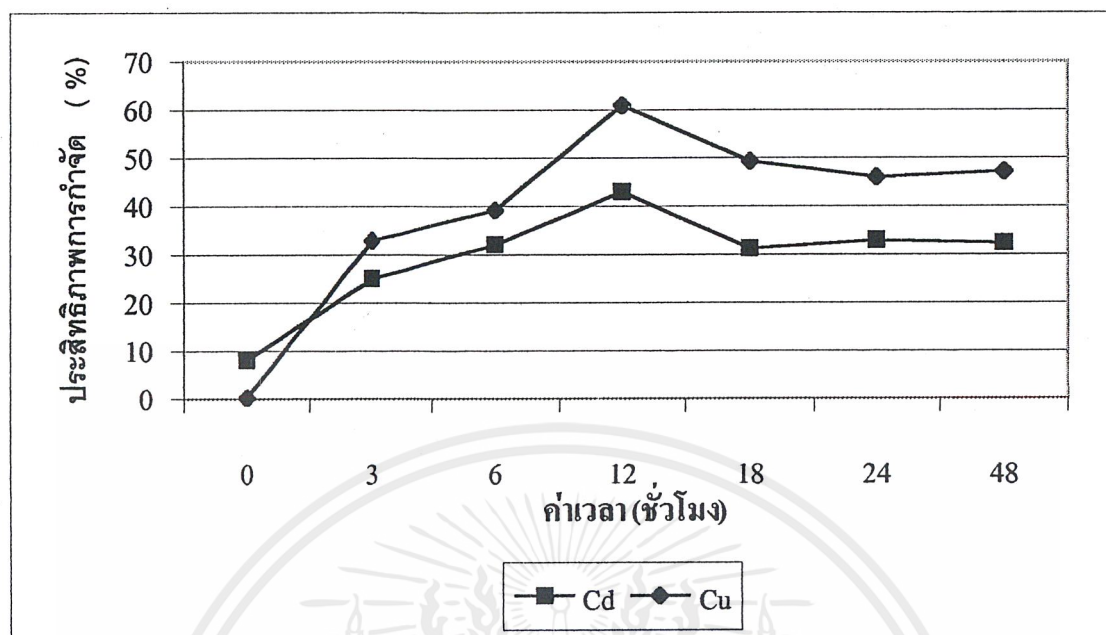
จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม โดยแปรค่าปริมาณไคโตซานเป็น 0.12 , 0.24 , 0.36 , 0.48 , 0.60 และ 0.72 กรัม ตามลำดับ ปรับพีเอชเป็น 8 ซึ่งเป็นสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักโดยไคโตซาน ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม เท่ากับ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดที่ปริมาณไคโตซานต่าง ๆ กัน แสดงดังกราฟรูปที่ 4.4 และตารางที่ ก.3 (ภาคผนวก ก) พบว่าเมื่อปริมาณไคโตซานต่างๆ กันมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม คือประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมที่ปริมาณไคโตซานเป็น 0.12 , 0.24 และ 0.36 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 13.93 , 28.69 และ 32.58 ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อปริมาณไคโตซานเท่ากับ 0.48 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 44.79 เนื่องจากการดูดซับเกิดขึ้นสูงสุดระหว่างปริมาณไคโตซานกับปริมาณน้ำชะละลาย 25 มิลลิตร แต่เมื่อการดูดซับถึงขั้นสูงสุดแล้วพื้นที่ผิวในการดูดซับแคดเมียมของไคโตซานจะอิ่มตัวจึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมลดต่ำลงคิดเป็นร้อยละ 37.63 และ 39.32 ที่ปริมาณไคโตซาน 0.60 และ 0.72 ตามลำดับ

จากกราฟรูปที่ 4.4 ยังพบว่าเมื่อถึงขั้นที่ไคโตซานสามารถดูดซับที่ผิวไคโตซานมากที่สุดที่ปริมาณไคโตซานเป็น 0.48 กรัม แล้วประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลงเนื่องจากประสิทธิภาพในการดูดซับได้สูงสุดเพียงค่าหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นจึงเลือกปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมเป็น 0.48 กรัม เพื่อที่จะนำไปใช้ในการทดลองในหัวข้อต่อไป

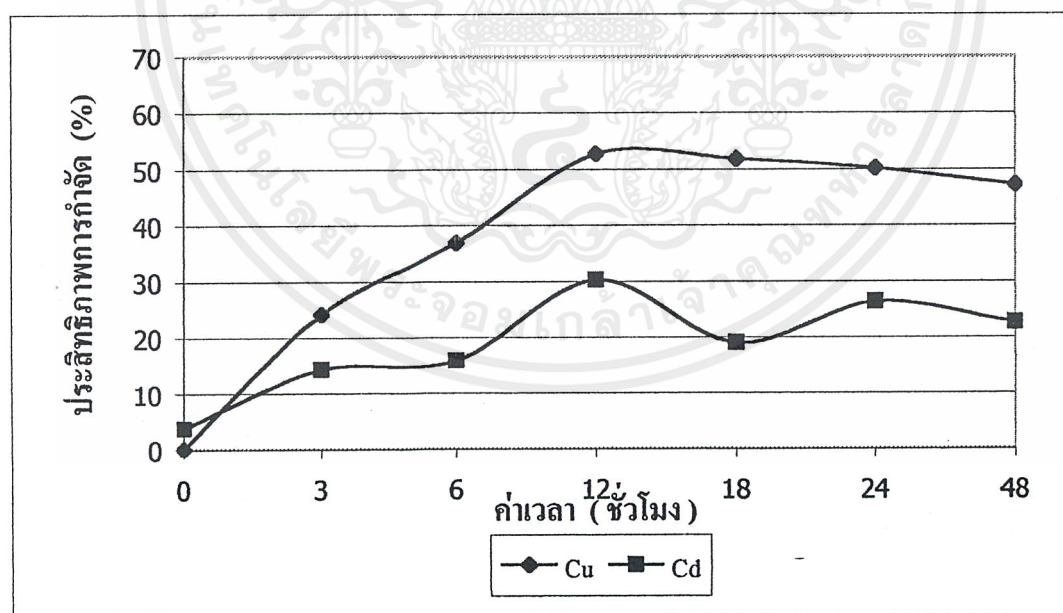
เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของแดงกับแคดเมียมพบว่าทองแดงมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าแคดเมียมเนื่องจากทองแดงมีขนาดอนุภาค และความหนาแน่นประจุมากกว่าแคดเมียมจึงทำให้สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับลิแกนด์ในงานวิจัยนี้ คือ ไคโตซานได้อย่างเสถียรมากกว่านั่นเอง

4.2.3 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม และทองแดง

การศึกษาการดูดซับแคดเมียม และทองแดง โดยแปรค่าเวลาสัมผัสเป็น 0 , 3 , 6 , 12 , 18 , 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ปรับพีเอชเป็น 8 ซึ่งเป็นสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักโดยไคโตซาน โดยใช้ปริมาณที่เหมาะสมเป็น 0.48 กรัมในการทดลอง ทำการ 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดเขย่าและไม่เขย่า พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน แสดงดังกราฟรูปที่ 4.5 และตารางที่ ก.4 (ภาคผนวก ก) และ กราฟรูปที่ 4.6 และตารางที่ ก.5 ตามลำดับ ดังนี้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง และแคดเมียมกับเวลาสัมผัสต่างๆ กัน (ใช่)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง และแคดเมียมกับเวลาสัมผัสต่างๆ กัน (ไม่ใช่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.1 ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงในน้ำชะละลาย

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงมีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 65.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณไคโตซาน 0.48 กรัม น้ำชะละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 8 โดยแปรค่าเวลาสัมผัสเป็น 0, 3, 6, 12, 18, 24 และ 48 ชั่วโมง โดยเขย่าที่อัตราเร็วคงที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 0.13, 33.00, 39.29, 60.94, 49.31, 46.09 และ 47.30 ตามลำดับ ส่วนเมื่อไม่เขย่าปรากฏว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 0.048, 24.25, 36.99, 52.68, 51.71, 50.16 และ 47.20 ตามลำดับ พบว่าการกำจัดจะเข้าสู่สมดุลที่เวลา 12 ชั่วโมง ทั้งการเขย่า และไม่เขย่า เพราะมีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงได้ดีที่สุด แต่เมื่อทดลองที่เวลามากกว่า 12 ชั่วโมงปรากฏว่าประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงจะลดลงเนื่องจากโมเลกุลเชิงซ้อนของทองแดงกับไคโตซานเกิดการหลุดออกเมื่อใช้เวลาดำเนินการมากเกินไป และจะเห็นได้ว่าที่ 18-48 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงมีค่าคงที่

4.2.3.2 ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมในน้ำชะละลาย

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม มีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 65.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณไคโตซาน 0.48 กรัม น้ำชะละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 8 โดยแปรค่าเวลาสัมผัสเป็น 0, 3, 6, 12, 18, 24 และ 48 ชั่วโมง โดยเขย่าที่อัตราเร็วคงที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 8.04, 25.06, 32.02, 42.98, 31.29, 33.04 และ 32.46 ตามลำดับ ส่วนเมื่อไม่เขย่าปรากฏว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 3.79, 14.35, 15.92, 30.30, 19.09, 26.36 และ 22.73 ตามลำดับ พบว่าการกำจัดจะเข้าสู่สมดุลที่เวลา 12 ชั่วโมง ทั้งการเขย่า และไม่เขย่า เพราะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้ดีที่สุด แต่เมื่อทดลองที่เวลามากกว่า 12 ชั่วโมงปรากฏว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมจะลดลงมากเนื่องจากโมเลกุลเชิงซ้อนของแคดเมียมกับไคโตซานเกิดการหลุดออก และที่ 18-48 ชั่วโมงพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมมีแนวโน้มคงที่

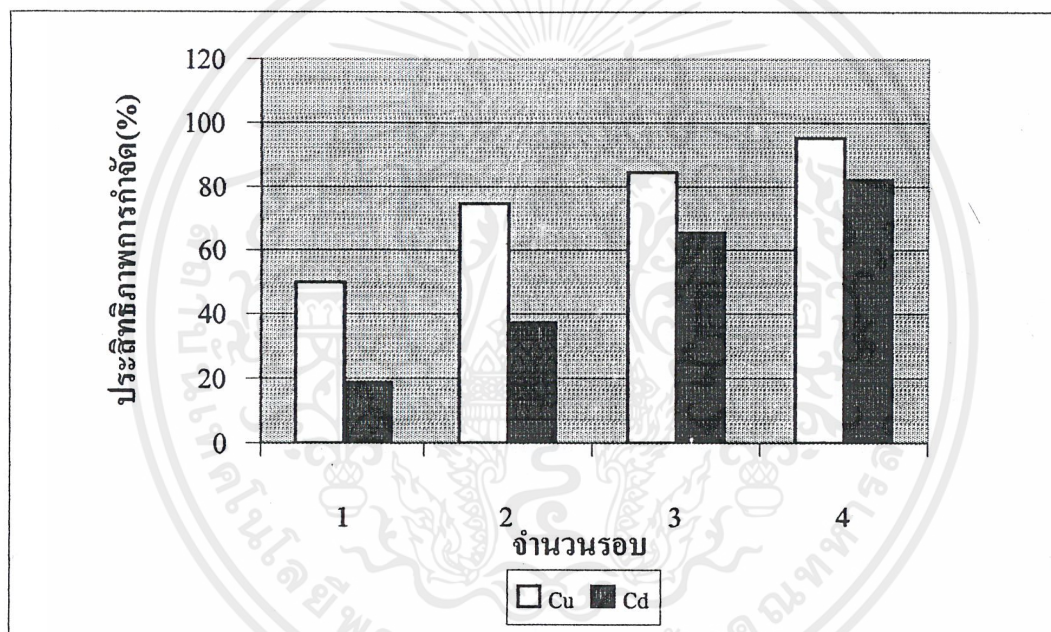
จากกราฟรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าในการแปรค่าเวลาในการผสมระหว่างไคโตซานกับโลหะไอออน ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับโลหะไอออนของไคโตซานจะเพิ่มขึ้นในช่วง 0 ถึง 12 ชั่วโมง ทั้งชุดเขย่า และไม่เขย่า และประสิทธิภาพเริ่มคงที่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจากเวลา 12 ชั่วโมง จนถึง 48 ชั่วโมง ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป คือ 12 ชั่วโมง เนื่องจากเวลาสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการกำจัด

แคคเมียมและทองแดง ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่จะทำให้ ประสิทธิภาพในการกำจัดศัตรูพืชที่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกดูดซับด้วย เพราะน้ำชะละลายจากกากตะกอนประกอบด้วย โลหะหลายชนิด และความเข้มข้นแตกต่างกันจึงทำให้เวลาที่เลือกควรเป็นเวลาที่น้อยที่สุดที่จะทำให้การกำจัดทองแดง และแคคเมียมในน้ำชะละลายสามารถถูกกำจัด ได้อย่างสมบูรณ์มากที่สุด

นอกจากนั้นพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงและแคคเมียมของไคโตซานเมื่อเขย่าและไม่เขย่ามีค่าแตกต่างกัน แสดงว่า การเขย่าและไม่เขย่ามีผลต่อการเพิ่ม หรือลดประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงและแคคเมียม ดังนั้นสรุปได้ว่าการดูดซับของโลหะไอออนถูกควบคุมโดยการผสมกันของโลหะในน้ำชะละลายกับไคโตซาน เมื่อเขย่าไคโตซานสามารถกำจัดทองแดงได้คิดเป็นร้อยละ 60.94 ส่วนการไม่เขย่าพบว่ากำจัดทองแดงได้คิดเป็นร้อยละ 52.68 แสดงว่า การดูดซับของไอออนโลหะขึ้นอยู่กับการปั่นกววนด้วย เนื่องจากอัตราการดูดซับขึ้นอยู่กับการชนสัง โมเลกุลของระบบซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ซึ่งขั้นตอนประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม และการแพร่เข้าสู่รูพรุนของไคโตซาน เมื่อไม่เขย่าทำให้ฟิล์มน้ำชะละลายซึ่งล้อมรอบไคโตซานจะมีความหนาแน่นมาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโลหะไอออนในน้ำชะละลายเข้าไปหาไคโตซานได้ยากขึ้น ส่วนเมื่อมีการเขย่า น้ำจะมีการปั่นกววนสูงขึ้นทำให้ความหนาแน่นของชั้นฟิล์มจะลดลง ทำให้ โลหะไอออนในน้ำชะละลายเข้าไปหาไคโตซานได้ง่ายขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมเพื่อทำให้แน่ใจต่อสถานะสมดุลของการดูดซับที่สมบูรณ์มากที่สุด คือที่เวลา 12 ชั่วโมง

4.2.3 ผลการศึกษาการเติมโคโคซานเป็นจำนวน 4 รอบ ในการดูดซับแคดเมียม และทองแดง

การศึกษากการดูดซับแคดเมียมและทองแดง โดยแปรค่าจำนวนรอบของการเติมโคโคซานเป็นจำนวน 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ปรับพีเอชเป็น 8 ซึ่งเป็นสภาวะ พีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักโดยโคโคซาน โดยใช้ปริมาณที่เหมาะสมเป็น 0.48 กรัม และเขย่าด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วเติมโคโคซานใหม่แทนโคโคซานที่ผ่านการดูดซับโลหะไอออน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน กราฟรูปที่ 4.7 และตารางที่ 6.6 ดังนี้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง และแคดเมียม และจำนวนรอบในการเติมโคโคซานเป็นจำนวน 4 รอบ

รอบแรก ปรากฏว่าสามารถดูดซับทองแดงได้คิดเป็นร้อยละ 49.97 ส่วนแคดเมียมคิดเป็นร้อยละ 18.85 การที่เปอร์เซ็นต์การกำจัดของโลหะแต่ละชนิดไม่เท่ากันเป็น เพราะการดูดซับของโลหะแต่ละชนิดไม่เท่ากันนั้นมีสาเหตุมาจากขนาดของไอออนในน้ำจะละลายและความหนาแน่นของประจุ (charge density) โดยพบว่าโลหะไอออนที่มีความหนาแน่นประจุสูงจะช่วยเพิ่มแรงดึงดูด

ทางไฟฟ้ากับประจุลบบนโคโคซานซึ่งเป็นลิแกนด์ได้ดีทำให้โมเลกุลเชิงซ้อนที่เกิดมีความเสถียรมาก ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งพบว่าทองแดงมีรัศมีไอออน และความหนาแน่นประจุมากกว่าแคดเมียมจึงทำให้ทองแดงมีประสิทธิภาพในการกำจัดดีกว่าแคดเมียม

รอบที่ 2 ปรากฏว่าสามารถดูดซับทองแดงและแคดเมียมได้เพิ่มขึ้นมากจากการเติมโคโคซานลงไปใหม่ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง และแคดเมียมเพิ่มคิดเป็นร้อยละ 74.66 และ 37.18 ตามลำดับ

รอบที่ 3 เนื่องจากทองแดง และแคดเมียม ถูกกำจัดได้เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 84.61 และ 65.43 ตามลำดับ เนื่องจากการเติมโคโคซานลงไปใหม่เป็นรอบที่ 3

รอบที่ 4 สามารถกำจัดทองแดง และแคดเมียมได้เกือบสมบูรณ์ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดง และแคดเมียมคิดเป็นร้อยละ 95.38 และ 82.30 ตามลำดับ

ดังนั้นการเติมสารดูดซับเข้าไปใหม่ทำให้ความเป็นไปได้ในการทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัส และปริมาณหมู่เอมีนอิสระ (NH_2) ของโคโคซานที่ใช้ในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น แต่ทั้งนี้จะมีการดูดซับได้สูงสุดเพียงค่าหนึ่งเท่านั้น เพราะเนื่องจากในน้ำชะละลายมีโลหะปนเปื้อนหลายชนิดจึงทำให้สามารถเกิดการแข่งขันแย่งชิงพื้นที่ผิวในการดูดซับได้ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงและแคดเมียมไม่ถึง 100 % นั่นเอง

นอกจากนี้การที่ทองแดงสามารถถูกกำจัดได้ดีกว่า เพราะทองแดงมีขนาดอนุภาคและความหนาแน่นประจุมากกว่าแคดเมียมจึงทำให้สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับโคโคซานได้อย่างเสถียรมากกว่า

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการการศึกษา

1. การเตรียมน้ำชะละลายโดยการล้างดินด้วย EDTA 0.01 โมลาร์ สามารถชะโลหะออกจากภาคตะกอนโดยมีปริมาณความเข้มข้นของน้ำชะละลายของทองแดง และแคดเมียมประมาณ 65.78 และ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ
2. ค่าพีเอชของน้ำชะละลายสูงหรือต่ำเกินไปทำให้การดูดซับโลหะไอออนลดลง คือที่ pH จาก 3 ถึง 8 พบว่าการดูดซับโลหะไอออนเพิ่มสูงขึ้น ส่วนที่ pH มากกว่า 9 การดูดซับโลหะไอออนลดลงเรื่อยๆ พีเอชที่เลือกใช้ คือ 8 เพราะสามารถกำจัดโลหะทั้งแคดเมียมและทองแดงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกำจัดทองแดงและแคดเมียมคิดเป็นร้อยละ 47.49 และ 39.92 ตามลำดับ
3. ปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้นสามารถดูดซับโลหะ ได้มากขึ้นเพราะการเพิ่มปริมาณไคโตซานเหมือนเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับคือการเพิ่มหมู่อะมิโนอิสระของไคโตซาน จากการทดลองพบว่า ปริมาณไคโตซานที่เลือกใช้ คือ 0.48 กรัม สามารถกำจัดทองแดงและแคดเมียมได้ร้อยละ 54.24 และ 44.79 ตามลำดับ แต่เมื่อเติมไคโตซานมากกว่า 0.48 กรัม คือ 0.60 และ 0.72 กรัม พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับลดลงเป็นเพราะความไม่เสถียรของแคดเมียม และทองแดงที่พื้นที่ผิวของไคโตซาน
4. เมื่อเวลาสัมผัสมากขึ้นทำให้การดูดซับลดลงมากขึ้นแต่พอถึงระยะเวลาหนึ่งการดูดซับเริ่มคงที่และน้อยลงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงและแคดเมียมลดลง ดังนั้นเวลาสัมผัสที่เหมาะสมคือ 12 ชั่วโมง และปรากฏว่าการเขย่าหรือไม่เขย่ามีผลต่อการดูดซับ โดยเมื่อเขย่ากำจัดทองแดงและแคดเมียมได้ร้อยละ 60.94 และ 42.98 ตามลำดับ ส่วนเมื่อเขย่ากำจัดทองแดงและแคดเมียมได้ร้อยละ 52.68 ตามลำดับ
5. การเพิ่มจำนวนรอบในการเติมไคโตซานใหม่ที่ไคโตซานที่ผ่านการดูดซับแล้วมีผลต่อการดูดซับแคดเมียมและทองแดง เพราะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมและทองแดงที่ปนเปื้อนในน้ำชะละลายคิดเป็นร้อยละ 95.38 และ 82.30 ตามลำดับ เมื่อเติมไคโตซานครบ 4 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่นด้วยเช่น โครเมียม ตะกั่ว สังกะสี และแอนไอออนที่มีผลต่อการดูดซับและประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงและแคดเมียมด้วย
2. ใคโตซานที่ผ่านการดูดซับโลหะหนักแล้วควรนำไปกำจัด โดยกระบวนการที่สามารถลดความเป็นพิษของโลหะหนักได้ เช่น Solidfication หรือ Fixation
3. ควรศึกษาการกำจัดโลหะหนักแบบคอลัมน์ เพื่อความสะดวกในการที่จะนำไปใช้กับการกำจัดโลหะหนักจากน้ำชะละลายในระบบจริง
4. กรณีต้องการศึกษาโครงการพิเศษนี้ต่อควรศึกษาว่าอีดีทีเอ (EDTA) มีผลต่อการดูดซับโลหะของไคโตซานหรือไม่ และควรศึกษาคีเลตติงเอเจนท์ (Chelating agent) ตัวอื่นๆ ด้วย
5. การหาปริมาณทองแดงและแคดเมียมควรวัดทันทีหลังจากการทำาทดลองเพื่อทำให้ผลการวิจัยน่าเชื่อถือและถูกต้องมากขึ้น
6. การเลือกพีเอชที่เหมาะสมควรเลือกค่าพีเอชที่ไม่มีผลของการตกตะกอนของทองแดงและแคดเมียม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

1.การศึกษาปริมาณของทองแดงและแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำชะละลาย

ตารางที่ ก.1 การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดงและแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำชะละลาย

การทดลองที่	Cu (ppm)	Cd (ppm)
1	63.52	0.84
2	63.62	0.84
3	63.74	0.86
4	63.40	0.82
5	64.50	0.88
6	63.80	0.92
7	64.00	1.22
8	63.60	1.24
9	63.78	1.28
10	63.20	1.24
11	69.16	1.30
12	68.70	1.30
13	67.50	1.14
14	67.16	1.14
15	67.02	1.14
16	68.70	1.18
17	69.16	1.10
18	69.50	1.10
เฉลี่ย	65.78	1.09
SD	2.47	- 0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเราใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงและแคดเมียมโดยใช้ไคโตซาน

2.1 ศึกษาค่าพีเอชของน้ำชะละลายที่เหมาะสม

ตารางที่ ก.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่าพีเอชของน้ำชะละลาย

พีเอช	ครั้งที่	Cu			Cd		
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด %	ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด %
3	1	63.52	43.125	32.10	0.84	0.825	1.79
	2	63.52	43.700	31.20	0.84	0.825	1.79
	3	63.52	43.625	31.32	0.84	0.800	4.76*
เฉลี่ย				31.54			1.79
4	1	63.52	39.550	37.74	0.84	0.750	10.71*
	2	63.52	39.375	38.01	0.84	0.700	16.67
	3	63.52	40.050	36.95	0.84	0.700	16.67
เฉลี่ย				37.57			16.67
5	1	63.62	39.075	38.73	0.84	0.650	22.62
	2	63.62	38.525	39.60	0.84	0.650	22.62
	3	63.62	38.375	39.83	0.84	0.675	19.64*
เฉลี่ย				39.39			22.62
6	1	63.62	36.95	42.07	0.84	0.60	28.57
	2	63.62	36.55	42.69	0.84	0.60	28.57
	3	63.62	37.43	41.32	0.84	0.65	22.68*
เฉลี่ย				42.03			28.57

* ข้อมูลที่ไม่นำมาคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่า
พีเอชของน้ำชะละลาย

พีเอช	ครั้งที่	Cu			Cd		
		ปริมาณ เริ่มต้น (ppm)	ปริมาณ ที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การกำจัด %	ปริมาณ เริ่มต้น (ppm)	ปริมาณ ที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การกำจัด %
7	1	63.74	35.07	44.97	0.86	0.58	33.14
	2	63.74	35.13	44.88	0.86	0.58	33.14
	3	63.74	35.15	44.85	0.86	0.60	30.23*
เฉลี่ย				44.90			33.14
8	1	63.74	33.23	47.87	0.86	0.50	41.86*
	2	63.74	33.60	47.28	0.86	0.53	38.95
	3	63.74	33.58	47.32	0.86	0.53	38.95
เฉลี่ย			47.49			38.95	
9	1	63.40	36.50	42.43	0.82	0.53	35.98
	2	63.40	36.45	42.51	0.82	0.58	29.88
	3	63.40	36.38	42.62	0.82	0.53	35.98
เฉลี่ย			42.52			33.95	
10	1	63.40	36.95	41.72	0.82	0.53	35.98
	2	63.40	36.58	42.31	0.82	0.53	35.98
	3	63.40	36.63	42.23	0.82	0.50	39.02
เฉลี่ย			42.09			38.00	

* ข้อมูลที่ไม่นำมาคำนวณ

2.2 ศึกษาปริมาณโคโคซานที่เหมาะสม

ตารางที่ ก.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่าปริมาณโคโคซาน

ปริมาณโคโคซาน (กรัม)	ครั้งที่	Cu			Cd		
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด %	ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด %
0.12	1	64.00	53.63	16.21	1.22	1.05	13.93
	2	64.00	53.70	16.09	1.22	1.05	13.93
	3	64.00	53.58	16.29	1.22	1.05	15.57*
เฉลี่ย				16.20			13.93
0.24	1	64.00	45.08	29.57	1.22	0.85	30.33*
	2	64.00	44.68	30.19	1.22	0.87	28.69
	3	64.00	45.03	29.65	1.22	0.87	28.69
เฉลี่ย				29.8			28.69
0.36	1	63.60	44.08	30.70	1.24	0.85	30.33
	2	63.60	43.70	31.29	1.24	0.83	37.10
	3	63.60	43.70	31.29	1.24	0.85	30.33
เฉลี่ย				31.09			32.58
0.48	1	63.78	28.95	54.61	1.28	0.73	45.31
	2	63.78	29.33	54.01	1.28	0.71	44.53
	3	63.78	29.28	54.10	1.28	0.71	44.53
เฉลี่ย				54.24			44.79
0.60	1	63.78	34.90	45.28	1.27	0.77	37.90
	2	63.78	34.70	45.52	1.27	0.77	37.90
	3	63.78	34.88	45.32	1.27	0.78	37.10
เฉลี่ย				45.37			37.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่า
ปริมาณโคโคซาน

ปริมาณ โคโคซาน (กรัม)	ครั้งที่	Cu			Cd		
		ปริมาณ เริ่มต้น (ppm)	ปริมาณ ที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การกำจัด %	ปริมาณ เริ่มต้น (ppm)	ปริมาณ ที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การกำจัด %
0.72	1	63.20	35.68	43.55	1.28	0.77	39.84
	2	63.20	35.73	43.47	1.28	0.78	39.06
	3	63.20	36.78	41.81	1.28	0.78	39.06
เฉลี่ย				42.94			39.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ศึกษาผลของเวลาที่เหมาะสม

ตารางที่ ก.4 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่าเวลา (เขย่า)

เวลาเขย่า (ชั่วโมง)	ครั้งที่	Cu			Cd		
		ปริมาณ เริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่ เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การกำจัด %	ปริมาณเริ่ม ต้น (ppm)	ปริมาณที่ เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การกำจัด %
0	1	67.50	67.40	0.15	1.14	1.055	7.46
	2	67.50	67.43	0.11	1.14	1.050	7.89
	3	67.50	67.45	0.08	1.14	1.040	8.77
เฉลี่ย				0.11			8.04
3	1	67.50	45.275	32.93	1.14	0.855	25.00
	2	67.50	45.225	33.00	1.14	0.858	24.74
	3	67.50	45.225	33.00	1.14	0.850	25.44
เฉลี่ย				32.98			25.06
6	1	67.50	40.90	39.41	1.14	0.780	31.58
	2	67.50	41.05	39.19	1.14	0.850	25.44
	3	67.50	41.00	39.26	1.14	0.770	32.46
เฉลี่ย				39.29			32.02
12	1	67.16	26.425	60.65	1.14	0.620	45.61
	2	67.16	25.875	61.47	1.14	0.670	41.23
	3	67.16	26.400	60.69	1.14	0.660	42.11
เฉลี่ย				60.94			42.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่าเวลา (เขย่า)

เวลาเขย่า (ชั่วโมง)	ครั้งที่	Cu			Cd		
		ปริมาณ เริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่ เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การกำจัด %	ปริมาณเริ่ม ต้น (ppm)	ปริมาณที่ เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การกำจัด %
18	1	67.02	34.20	48.97	1.14	0.78	31.58
	2	67.02	33.85	49.49	1.14	0.78	31.58
	3	67.02	33.88	49.46	1.14	0.79	30.70
เฉลี่ย				49.31			31.29
24	1	67.16	36.43	45.76	1.14	0.76	33.16
	2	67.16	36.35	45.87	1.14	0.77	32.46
	3	67.16	35.83	46.66	1.14	0.76	33.16
เฉลี่ย				46.09			33.04
48	1	67.02	35.36	47.29	1.14	0.77	32.46
	2	67.02	35.30	47.33	1.14	0.77	32.46
	3	67.02	35.33	47.29	1.14	0.77	32.46
เฉลี่ย				47.30			32.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่าเวลา
(ไม่เขย่า)

เวลาเขย่า (ชั่วโมง)	ครั้งที่	Cu			Cd		
		ปริมาณ เริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่ เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การกำจัด %	ปริมาณเริ่ม ต้น (ppm)	ปริมาณที่ เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การกำจัด %
0	1	69.16	69.11	0.072	1.10	1.05	4.55
	2	69.16	69.13	0.043	1.10	1.06	3.64
	3	69.16	69.14	0.029	1.10	1.06	3.64
เฉลี่ย				0.048			3.79
3	1	69.16	52.15	24.56	1.10	0.95	13.96
	2	69.16	52.60	23.94	1.10	0.94	14.55
	3	69.16	52.35	24.25	1.10	0.94	14.55
เฉลี่ย				24.25			14.35
6	1	69.16	43.58	36.99	1.10	0.93	15.45
	2	69.16	44.98	34.97	1.10	0.92	16.82
	3	69.16	43.58	36.99	1.10	0.92	15.45
เฉลี่ย				36.99			15.92
12	1	69.50	32.73	52.94	1.10	0.79	28.18
	2	69.50	32.78	52.87	1.10	0.75	31.81
	3	69.50	33.23	52.22	1.10	0.76	30.91
เฉลี่ย				52.68			30.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 (ต่อ) แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่าเวลา (ไม่เขย่า)

เวลาเขย่า (ชั่วโมง)	ครั้งที่	Cu			Cd		
		ปริมาณ เริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่ เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การกำจัด %	ปริมาณเริ่ม ต้น (ppm)	ปริมาณที่ เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การกำจัด %
18	1	69.50	32.90	52.11	1.10	0.90	18.18
	2	69.50	33.20	51.67	1.10	0.87	20.90
	3	69.50	33.15	51.47	1.10	0.90	18.18
เฉลี่ย				51.75			19.09
24	1	69.50	34.60	50.22	1.10	0.81	26.36
	2	69.50	34.70	50.07	1.10	0.81	26.36
	3	69.50	34.62	50.18	1.10	0.81	26.36
เฉลี่ย				50.16			26.36
48	1	69.16	36.40	47.37	1.10	0.85	22.73
	2	69.16	36.70	46.93	1.10	0.85	22.73
	3	69.16	36.45	47.30	1.10	0.85	22.73
เฉลี่ย				47.20			22.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ศึกษาจำนวนรอบของการเติมโคโคซาน

ตารางที่ ก.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลาย โดยแปรค่าจำนวนรอบของการเติมโคโคซาน

การเติมโคโคซานรอบที่	ครั้งที่	Cu			Cd		
		ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด %	ปริมาณเริ่มต้น (ppm)	ปริมาณที่เหลือ (ppm)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด %
1	1	68.70	33.48	51.27	1.30	1.05	19.23
	2	68.70	34.83	49.31	1.30	1.07	18.08
	3	68.70	34.80	49.34	1.30	1.05	19.23
เฉลี่ย				49.97			18.85
2	1	68.70	17.10	75.11	1.30	0.82	36.92
	2	68.70	17.70	74.24	1.30	0.81	37.69
	3	68.70	17.63	74.34	1.30	0.82	36.92
เฉลี่ย				74.56			37.18
3	1	69.16	10.80	84.38	1.30	0.45	65.77
	2	69.16	10.58	84.71	1.30	0.44	66.15
	3	69.16	10.55	84.75	1.30	0.45	65.38
เฉลี่ย				84.61			65.77
4	1	69.16	3.08	95.55	1.30	0.24	84.61
	2	69.16	3.13	95.48	1.30	0.25	84.15
	3	69.16	3.38	95.12	1.30	0.25	81.15
เฉลี่ย				95.38			83.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลาย EDTA 0.01 M

ละลาย 3.723 กรัม ของผง EDTA disodium salt



ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร



ตั้งทิ้งไว้ 2-3 วันแล้วกรอง



ได้ความเข้มข้นของสารละลาย EDTA 0.01 M

* ให้เก็บสารละลาย EDTA 0.01 M ที่เตรียมในขวด polyethylene หรือ pyrex glass ทั้งนี้เพราะ EDTA สามารถสกัดไอออนบวกที่ทำให้เกิดความกระด้างจากภาชนะที่ทำด้วยแก้วธรรมดา*

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานของทองแดง

ชั่งโลหะทองแดง 1.00 กรัม



ละลายโลหะทองแดงด้วยกรด ไนตริกเข้มข้น ปริมาตร 2 cm³



เติมไนตริกเข้มข้นปริมาตร 10 cm³



เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1000 cm³ ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 cm³

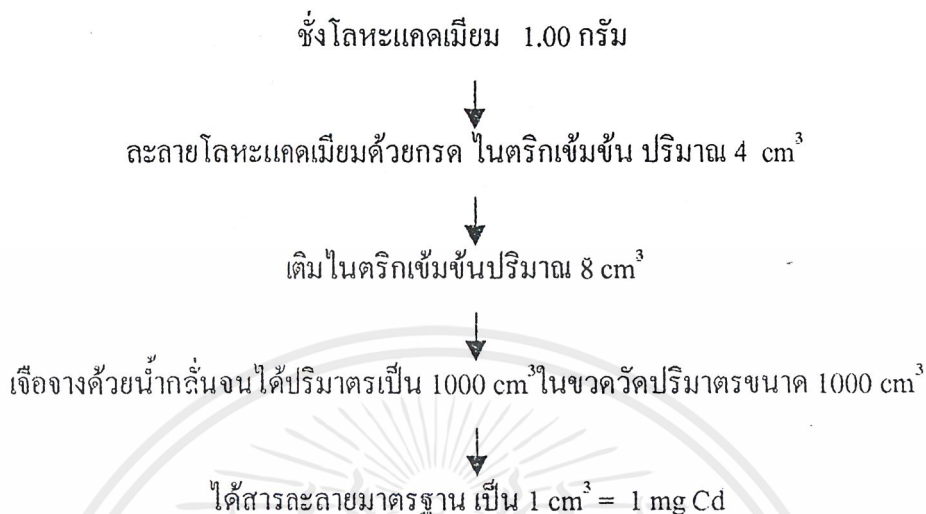


ได้สารละลายมาตรฐาน เป็น 1 cm³ = 1 mg Cu

* ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Cu เป็น 1000 mg/l หรือ 1000 ppm*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานของแคดเมียม



ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Cd เป็น 1000 mg/l หรือ 1000 ppm

4. การเตรียมสารละลายมาตรฐานของทองแดงและแคดเมียมเพื่อทำการพิมพ์มาตรฐาน

4.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงและแคดเมียมความเข้มข้น 100 ppm

ใช้ pipette ดูดสารละลายมาตรฐานของทองแดงและแคดเมียม

จากสารละลายมาตรฐานทองแดงและแคดเมียมความเข้มข้น 1000 ppm มา 10 ml

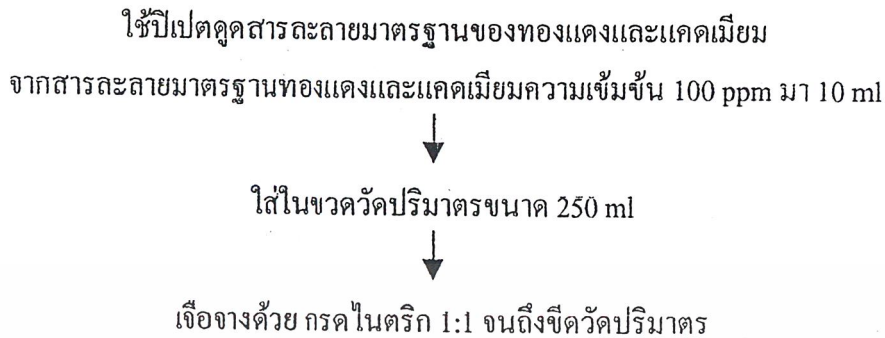
↓

ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml

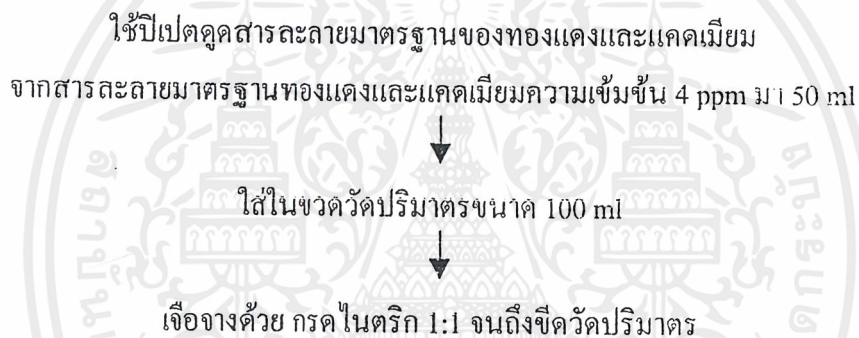
↓

เจือจางด้วย กรด ไนตริก 1:1 จนถึงขีดวัดปริมาตร

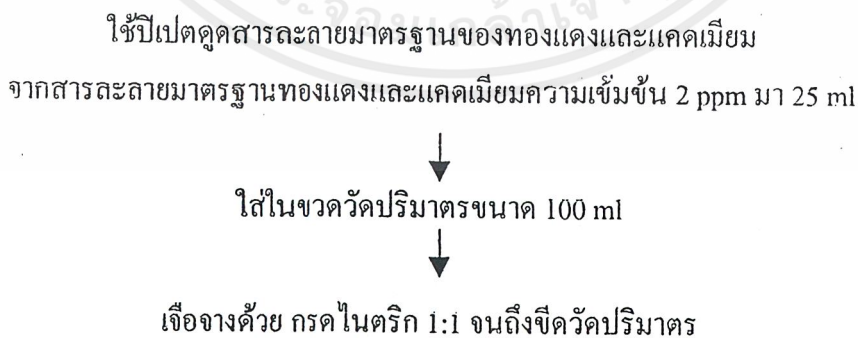
4.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงและแคดเมียมความเข้มข้น 4 ppm



4.3 เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงและแคดเมียมความเข้มข้น 2 ppm



4.4 เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงและแคดเมียมความเข้มข้น 1 ppm



ภาคผนวก ค

หลักการใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Adsorption Spectrophotometer)

1. วิธีการใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

มีขั้นตอนดังนี้

1. เปิดถังแก๊สอะเซทิลีนปรับความดันของแก๊สเท่ากับ 0.9 kg/cm^2 และเปิดปั๊มอากาศปรับความดันเท่ากับ 3.5 kg/cm^2
2. เปิดสวิทช์ Power เครื่องจะถูก set ให้สมบูรณ์ภายใน 35-140 วินาที
3. กดปุ่ม Mode เลือก BGC เพื่อเปิดหลอด D_2 Lamp
4. ใส่หลอด Hollow Cathode Lamp ในตำแหน่งที่ 2 เปิด HC Lamp โดยกด # ใส่ 2 Enter
5. กดปุ่มเพื่อเลือกชนิดของ Fuel gas
6. กดที่ element เพื่อเลือกธาตุ
7. กด F1 เพื่อดูสภาวะที่เหมาะสมของการดำเนินงานของธาตุแต่ละธาตุ
8. กด CONC CALIB เพื่อเลือกทำ Normal Calibration หรือ Standard addition โดยกด CONC หรือ STD ADDN แล้ว ENTER
9. เลือก SIGNAL PROC โดย กด ENTER และ ANALOG OUT โดยกด 2 ENTER
10. ป้อนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน
11. เช็ค Leak โดยกดปุ่ม Leak Check ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 8.0 l/min
12. จุดเปลวไฟโดยกด IGNITE
13. กดปุ่ม START /STOP เพื่อเริ่มพิมพ์ผล
14. ดูสารละลายแบลคแล้วกดปุ่ม BLANK จนไฟดับแล้วเอาแบลค้ออก
15. วัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นแรกแล้วกดปุ่ม STANDARD รอจนกว่าไฟดับแล้วจึงเอาสารละลายออก
16. ดูสารละลายแบลค්රรองนค่าการดูดกลืนแสงเป็นศูนย์
17. วัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่อไปทำซ้ำข้อ 15 และ 16 จนครบทุกความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

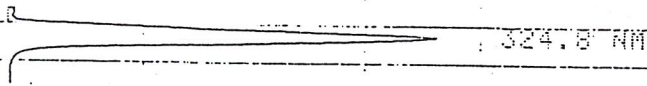
17. วัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่อไปทำซ้ำข้อ 15 และ 16 จนครบทุกความเข้มข้น
18. เครื่องจะเขียนกราฟให้จนเสร็จถ้าต้องการตัดค่าใดค่าหนึ่งทิ้งไปให้กด DATA OMIT แล้วป้อนหมายเลขสารละลายมาตรฐาน แล้ว ENTER 2 ครั้ง แล้วเครื่องจะเขียนกราฟให้ใหม่อีกครั้ง แต่ถ้าไม่ต้องการตัดค่าหนึ่งค่าใดให้กด ENTER 2 ครั้ง
19. ดูดสารละลายตัวอย่างเข้าสู่เปลวไฟ กด MEASURE เครื่องจะบันทึกค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นให้ทำเช่นนี้จนครบสารละลายตัวอย่าง
20. กด START /STOP เพื่อหยุดการทำงาน

2. กราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของทองแดงและแคดเมียม

เตรียม โดยนำสารละลายมาตรฐานของทองแดงและแคดเมียมเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงและแคดเมียมความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm มาหากราฟมาตรฐานโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน (Atomic Adsorption Spectrophotometer) ซึ่งได้กราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของทองแดงและแคดเมียมดังรูปที่ ค.1 และ ค. 2

== ELEMENT : CU ==

ANALYTICAL LINE SEARCH



==FINISHED

==FINISHED

CONC CAL. METHOD [?] NORMAL

STD	81	82	83	84	85	86
CONC						

	2	4	5	8	10	12	
APL#			488		CONC	86	CU
STAND			1.000				
STD1			1.25		2.000		
STD2			1.25		2.000		
STD3			1.25		2.000		
STD4			1.518		2.000		
STD5			1.643		10.000		

APL#	488	CONC	86	CU
STAND	1.000			
STD1	1.25	2.000		
STD2	1.25	2.000		
STD3	1.25	2.000		
STD4	1.518	2.000		
STD5	1.643	10.000		

STAND	1.000
STD1	1.25
STD2	1.25
STD3	1.25
STD4	1.518
STD5	1.643

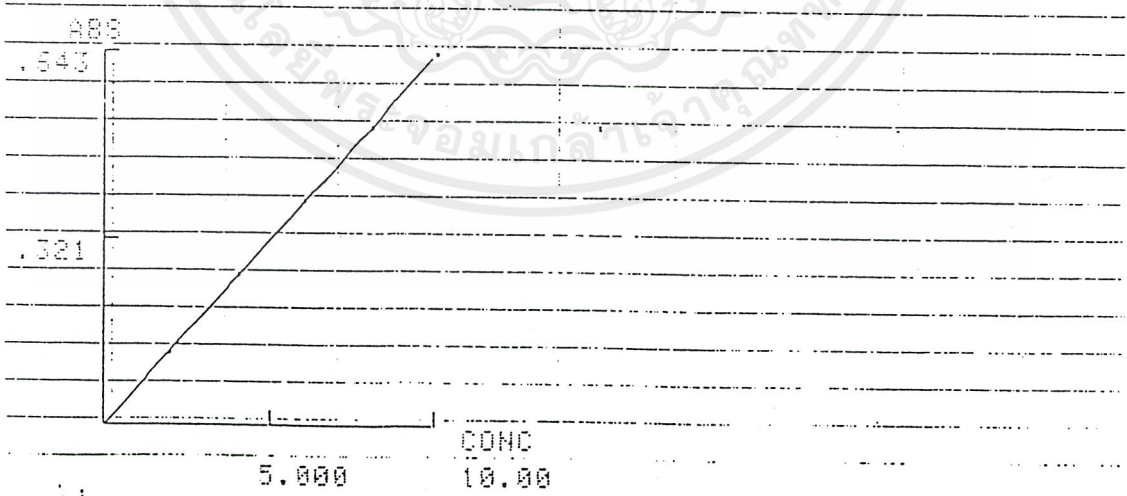
STD1	1.25	2.000
STD2	1.25	2.000
STD3	1.25	2.000
STD4	1.518	2.000
STD5	1.643	10.000

STD2	1.25	2.000
STD3	1.25	2.000
STD4	1.518	2.000
STD5	1.643	10.000

STD3	1.25	2.000
STD4	1.518	2.000
STD5	1.643	10.000

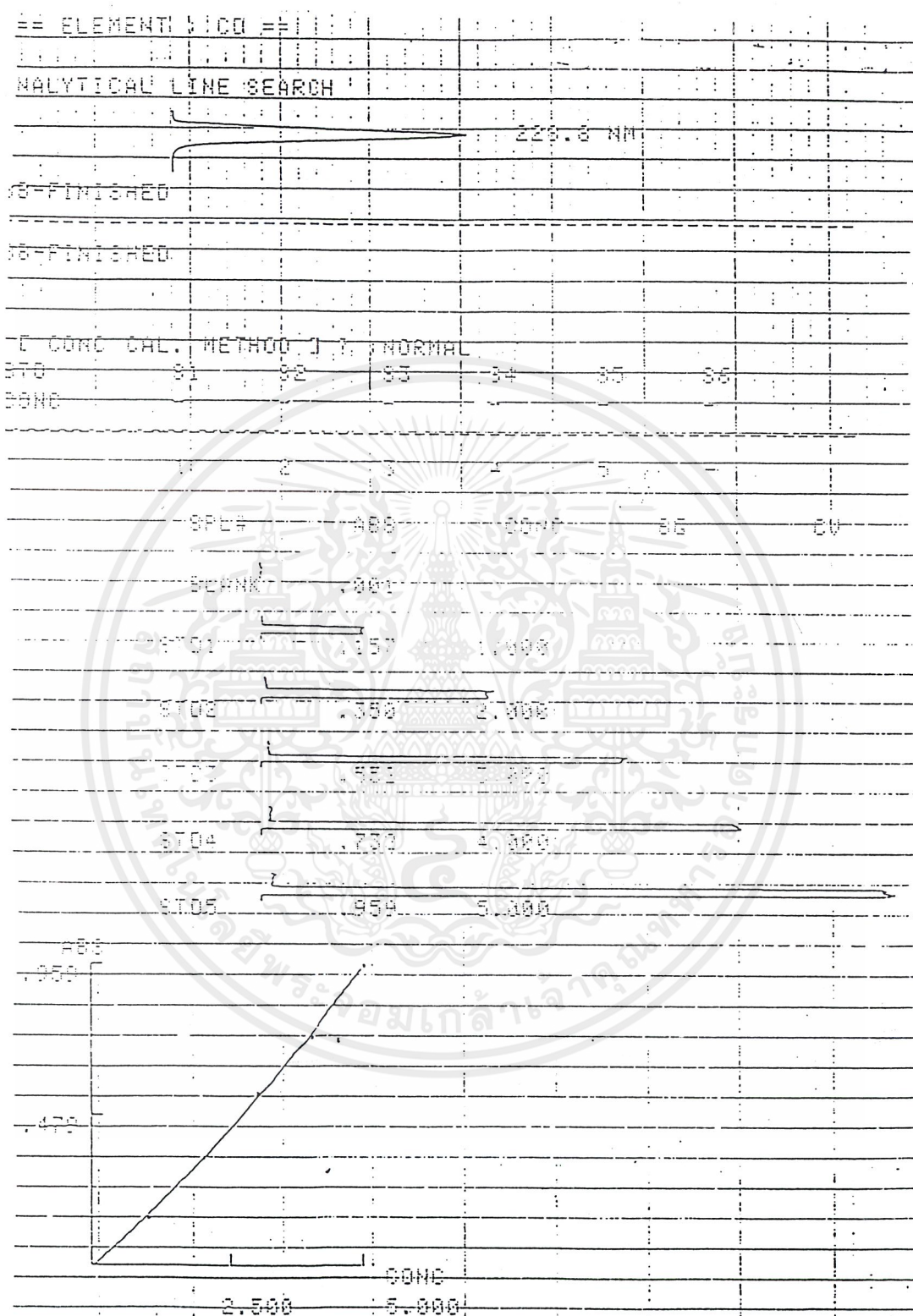
STD4	1.518	2.000
STD5	1.643	10.000

STD5	1.643	10.000
------	-------	--------



รูปที่ ๑.1 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของทองแดง (Cu²⁺)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของแคดเมียม (Cd^{2+})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
ภาคตะกอนจากโครงการจัดตั้งศูนย์บริหารจัดการ
วัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรม (Genco)

1. ที่มาของโครงการจัดตั้งศูนย์บริหารจัดการวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรม

1.1 หลักการและเหตุผล

ภาคของเสียอันตรายจากกิจการอุตสาหกรรม มีทั้งที่อยู่ในสภาพของแข็ง ของเหลว และของขี้เหน็ดหรือตะกอน ซึ่งบางชนิดเป็นพิษต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้แนวทางจัดการที่เหมาะสม คือ การป้องกันหรือหาทางลดให้เกิดของเสียให้น้อยที่สุดโดยวิธีการใช้วัตถุดิบหรือเทคโนโลยีการผลิตที่มีของเสียเกิดขึ้นน้อย หรือการนำของเสียกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ใหม่ และไม่ว่าจะป้องกันหรือหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดของเสียด้วยวิธีใด ๆ ยังจะต้องมีของเสียเกิดขึ้นอีกที่จะต้องหาทางจัดการ/กำจัดให้เหมาะสม และ ประหยัดต่อไปการบริการจัดการสารพิษยังเป็นเรื่องใหม่สำหรับประเทศไทย เทคโนโลยีในการจัดการเพื่อกำจัดก็เป็นของต่างประเทศเกือบทั้งหมดจึงต้องมีบุคลากรเฉพาะด้านและใช้เงินลงทุนสูง เพื่อเป็นตัวอย่างแก่เอกชนที่สนใจดำเนินการให้บริการกำจัดกากสารพิษโรงงาน และเป็นตัวอย่างให้โรงงานได้ศึกษาวิธีการกำจัดกากสารพิษที่เหมาะสมปลอดภัยและเป็นไปตามหลักวิชาการเพื่อนำไปใช้กับโรงงานของตน ด้วยเหตุดังกล่าวข้างต้นกระทรวงอุตสาหกรรม โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งรับผิดชอบโรงงานอุตสาหกรรมโดยตรงจึงได้มีโครงการจัดตั้งศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมขึ้นโดยรัฐเป็นผู้ลงทุนก่อสร้างแล้วให้เอกชนประมูลเข้าไปดำเนินการให้บริการภายใต้การกำกับดูแลของรัฐ (ในปัจจุบัน ดำเนินงานเช่าโดย บริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด) ทั้งนี้โครงการแรกที่ได้จัดตั้งที่ แขวงสามค่า เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร ภายใต้เนื้อที่ 65 ไร่ โดยเริ่มก่อสร้างในปี พ.ศ. 2529 ในวงเงินงบประมาณ 31 ล้านบาท (สามสิบเอ็ดล้านบาทถ้วน) และได้เปิดดำเนินการในปี พ.ศ. 2531 โดยมีแผนงานระบบ ดังนี้

1. ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจำพวกน้ำกรด ค่าง โลหะหนัก และไซยาไนด์ ได้วันละ 200 ลบ.ม.

2. ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ได้วันละ 800 ลบ.ม.
3. ระบบบำบัดตะกอนไฮดรอกไซด์ ขนาดวันละประมาณ 100 เมตริกตัน
4. บ่อฝังกลบที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ (Secure Landfill) ที่ศูนย์ ราชบุรีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

1.2 ชนิดของเสียจากโรงบำบัดของเสียอุตสาหกรรม

1.2.1 การทำ Landfill

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| -Metal hydroxide | - ของเสียจากการใช้แบตเตอรี่ |
| -ดินปนเปื้อน | -สัลดจ์โครม |
| -กากตะกอนจากโรงงานย้อมผ้า | -กากตะกอนจากน้ำเสีย |
| -หีบห่อที่ถูกลบเปื้อน | -ขี้เถ้าจากโรงไฟฟ้า |
| -ของเสียจากใยหิน | |

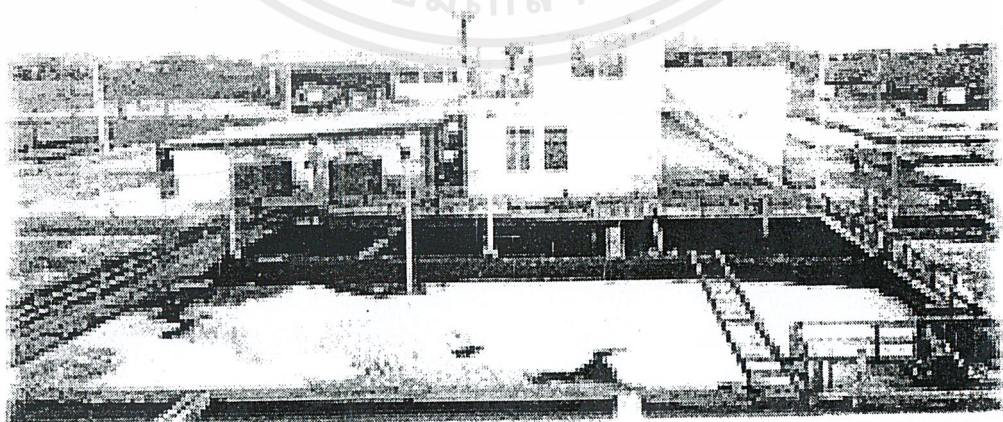
1.2.2 การบำบัดทางฟิสิกส์-เคมี

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| -น้ำเสียจากการชุบ โลหะ | -กรด |
| -น้ำเสียจากการย้อมสี | -เบส |
| -น้ำจากการทำความสะอาดหม้อน้ำ | -ของเสียในรูปไซยาไนด์ |

1.3 ระบบบำบัดและการกำจัด

โรงบำบัดของเสียอุตสาหกรรมที่สามค่า (SDM) และราชบุรี (RCB) ตั้งโดยกระทรวงอุตสาหกรรมในปี 1989 บริษัท Genco ดำเนินระบบครั้งแรก วันที่ 1 เมษายน 1996 ประกอบด้วยระบบบำบัดดังนี้

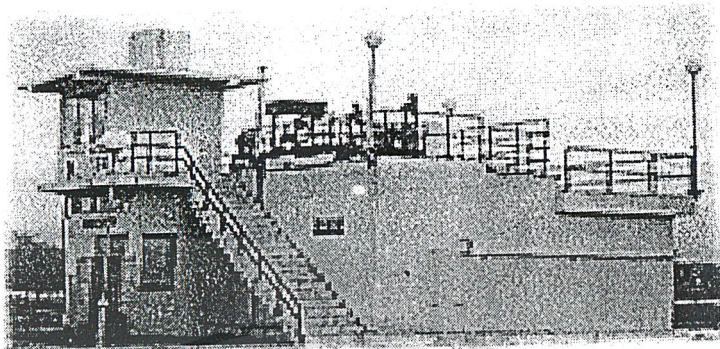
1.3.1 ระบบบำบัดทางฟิสิกส์-เคมีสำหรับโรงงานชุบโลหะ



รูปที่ ง.1 แสดงระบบบำบัดทางฟิสิกส์-เคมีสำหรับโรงงานชุบโลหะ

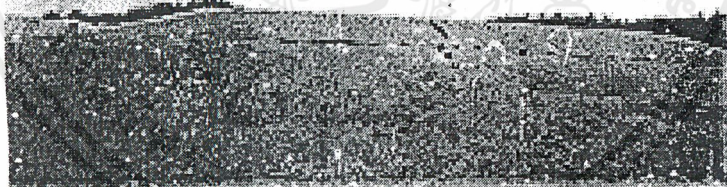
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 ระบบบำบัดทางฟิสิกส์-เคมี สำหรับน้ำเสียสำหรับน้ำเสียจากการย้อมสี



รูปที่ ๑.2 แสดงระบบบำบัดทางฟิสิกส์-เคมี สำหรับน้ำเสียสำหรับน้ำเสียจากการย้อมสี

1.3.3 ระบบทำให้ของเสียเสถียรมากขึ้น (Stabilisation) ที่ SDM และ ระบบการฝังกลบ(landfill) ที่ RCB สำหรับบำบัด Solid waste



รูปที่ ๑.3 แสดงการบำบัด Solid waste

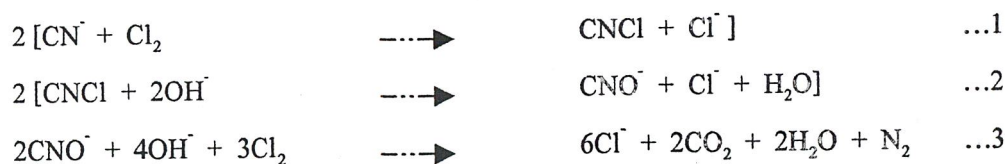
2. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจะถูกแยกบำบัดตามชนิดของสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสียนั้น เช่น โซยาไนต์ โครเมียม และ โลหะอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

- น้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยโซยาไนต์

โซยาไนต์ในน้ำเสียจะถูกทำลายโดยขบวนการ Alkali Chlorination ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปและค่อนข้างถูกกว่าวิธีอื่นๆ ในขบวนการดังกล่าว คลอรีน (ในรูป

โซเดียมไฮโปคลอไรท์) จะถูกเติมในน้ำเสียที่ปรับค่า pH ให้อยู่ระหว่าง 11.0–11.5 โดยการเติมปูนขาว คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับไซยาไนด์อย่างสมบูรณ์ที่ค่า redox potential ประมาณ -220 mv ดังสมการต่อไปนี้



จากสมการข้างบนจะเห็นว่า สารพิษไซยาไนด์จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไม่เป็นอันตรายโดยที่ปฏิกิริยา 1 เกิดขึ้นรวดเร็วมากและไม่ขึ้นกับ pH ส่วนปฏิกิริยา 2 เกิดที่ pH สูงๆ และปฏิกิริยา 3 จะเกิดเร็วที่ pH ปานกลาง

-น้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยโครเมียม

โครเมียมในน้ำเสียที่อยู่ในรูปของโครเมียม (+6) จะถูกรีดิวซ์เปลี่ยนเป็นโครเมียม (+3) ที่ไม่เป็นอันตรายโดยเติม โซเดียมเมตาซัลไฟท์ในน้ำเสียที่ปรับค่า pH ให้อยู่ระหว่าง 2–2.5 ด้วยกรดกำมะถัน ปฏิกิริยาจะสมบูรณ์ที่ค่า redox potential ที่ -280 mv ดังสมการต่อไปนี้

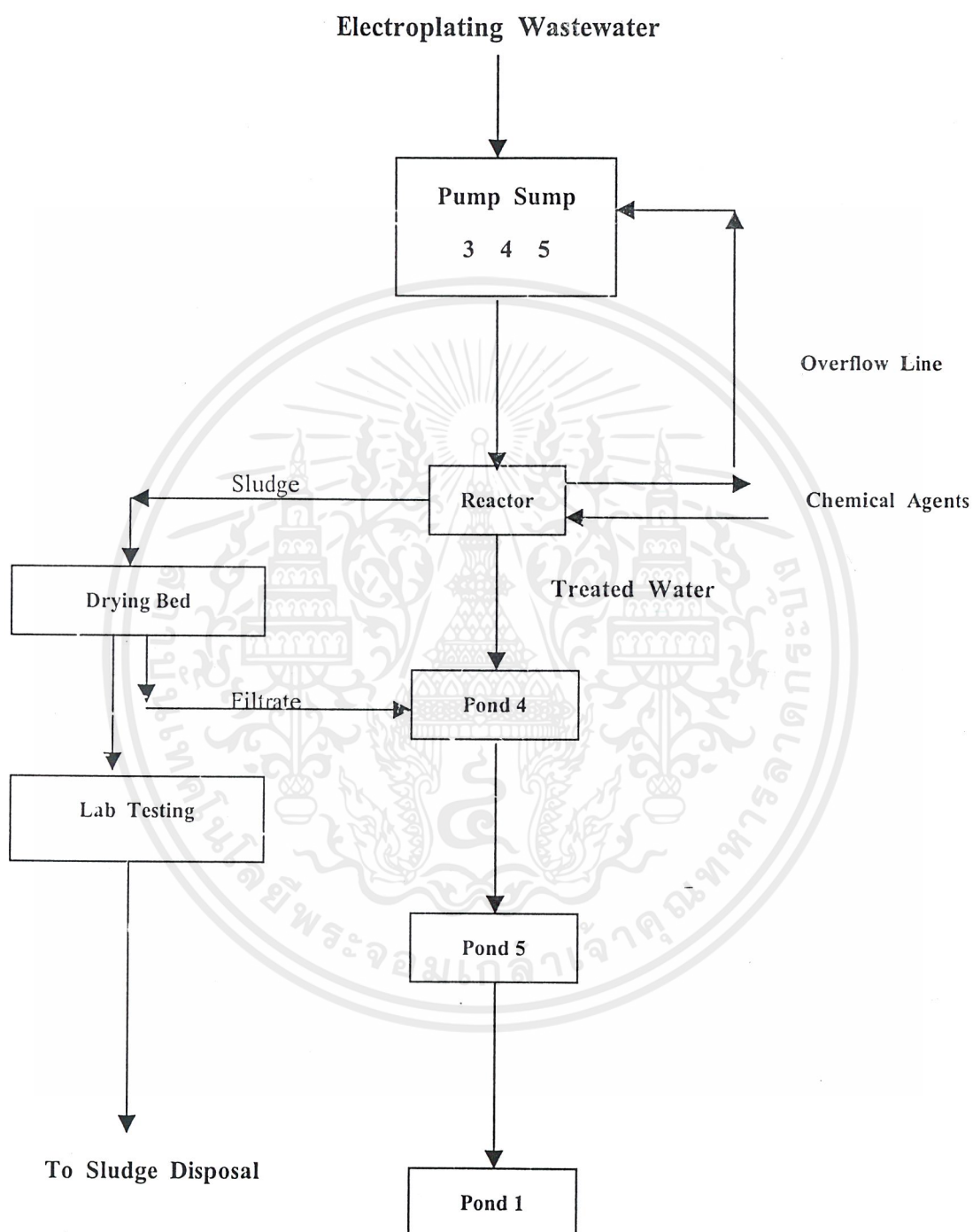


หลังจากนั้นโครเมียม (+3) ที่ได้จะถูกทำให้ตะกอนในสภาพที่เป็นด่าง (pH ประมาณ 10) ด้วยการเติมปูนขาว

-น้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนักอื่น ๆ นอกเหนือจากโครเมียม และไซยาไนด์

น้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยโลหะอื่น ๆ เช่น สังกะสี นิกเกิล แคดเมียม และทองแดง จะถูกบำบัดด้วยขบวนการตกตะกอน โดยการปรับ pH ของน้ำเสียให้อยู่ในช่วงประมาณ 10 ด้วยปูนขาว นอกจากนี้อาจมีการเติมสารโพลีอิเล็กโทรไลต์เพื่อช่วยในการตกตะกอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียโดยสรุปได้แสดงไว้ดังรูปที่ ๓.4



รูปที่ ๓.4 แสดงขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การกำจัดกากสารพิษ

ปัจจุบันทางศูนย์ฯ สามารถให้บริการเฉพาะกากตะกอนและวัสดุที่ไม่ใช้แล้วและปนเปื้อนสารพิษอนินทรีย์ในรูปโลหะหนัก เช่น นิเกิล ทองแดง สังกะสี โครเมียม แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท เป็นต้น

- กากตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนัก

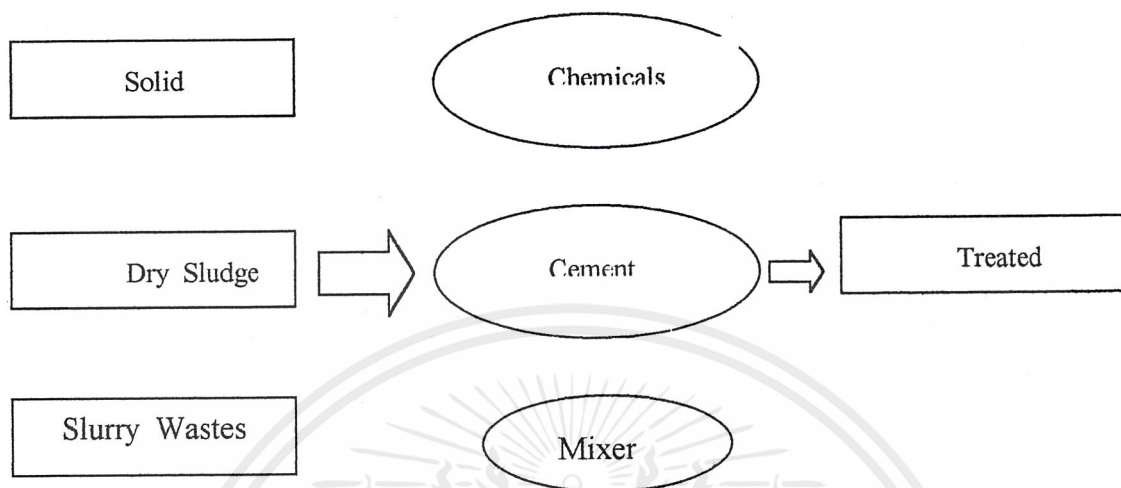
กากตะกอนของโลหะหนักต่าง ๆ เช่น ตะกั่ว แมงกานีส โครเมียม นิเกิล แคดเมียม เป็นต้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ วิธีการกำจัดกากตะกอนเหล่านี้จะใช้ปูนขาวหรือสารละลายปูนขาวผสมกากตะกอนเหล่านี้อย่างทั่วถึงเพื่อเพิ่มค่า pH ของกากตะกอนขึ้นเป็นประมาณ 12 แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง เก็บกองไว้เพื่อรอการนำไปฝังดินต่อไป

ในกรณีของกากตะกอนที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม จะต้องบำบัดเพิ่มเติมโดยทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์

-กากตะกอนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วปนเปื้อนด้วยปรอท

นำกากตะกอนที่ปนเปื้อนด้วยปรอทมาผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นปรอทซัลไฟด์ ส่วนวัสดุที่ไม่ใช้แล้วและปนเปื้อนด้วยปรอท เช่น วัสดุจากการผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ จำเป็นต้องนำไปบดให้มีขนาดเล็กลงก่อน แล้วถึงผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์เพื่อช่วยให้ทำปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง หลังจากนั้นนำไปทำให้เป็นก้อนแข็งโดยการผสมกับปูนซีเมนต์และอาจใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ผสมด้วย

ขั้นตอนการกำจัดกากสารพิษในรูปของแข็ง กากตะกอนแห้ง และ ของเหลวจะถูกกำจัดด้วยกระบวนการทางเคมี การกำจัดความเป็นพิษด้วยการถลุงซีเมนต์เพื่อไม่ให้กากสารพิษเกิดการปนเปื้อน และมีการผสมกากตะกอนและของเสียเพื่อนำของเสียไปกำจัดหรือบำบัดในขั้นต่อไปดังรูปที่ ๕.5



รูปที่ ๓.5 แสดงขั้นตอนการกำจัดกากสารพิษ

4. การจัดการฝังกลบที่บ่อบัดแล้ว

กากของเสียที่ถูกทำลายฤทธิ์แล้วจะถูกนำไปฝังอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ ซึ่งจากการศึกษาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าจังหวัดราชบุรีเป็นบริเวณที่มีคุณสมบัติทางธรณีวิทยาที่เหมาะสมสำหรับการฝังกลบดังกล่าวที่อยู่ใกล้กับศูนย์มากที่สุดแห่งหนึ่ง กล่าวคือบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่เขาและมีชั้นดินและหินแข็งที่สามารถรับน้ำหนักกากที่จะฝังได้ และไม่มีปัญหาของน้ำใต้ดินที่จะเกิดจากการฝังกลบดังกล่าว

บรรณานุกรม

- กัลยา วานิชย์บัญชา. หลักสถิติ, พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 105-120, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2539.
- ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. การบำบัดน้ำเสีย, หน้า 120-130, มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2539.
- ดร.ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. สารานุกรมธาตุ, หน้า 143-309, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ, 2525.
- ชุติมา ศรีวิบูลย์. เคมีวิเคราะห์ 1 (Analytical chemistry I CH 233), พิมพ์ครั้งที่ 7, มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ, 2531.
- ดร. มั่นสิน ตันกุลเวศม์. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ, พิมพ์ครั้งที่ 2, หน้า 115-120, วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมมหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์, กรุงเทพฯ, 2544.
- ภัทราวุธ. วิชาไบโอพอลิเมอร์ รหัสวิชา 05103211, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2000. (อัครสำเนา)
- วิลาวัลย์ จิ่งประเสริฐ. อาชีวเวชศาสตร์ ฉบับพิเศษวิทยา, โครงการตำรา กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี, 2542.
- วราพร ชลอำไพ. “การใช้ประโยชน์ของไคโตซานในการดักจับตะกั่วในน้ำเสีย.” ปริญญาานิพนธ์มหาวิทยาลัยมหิดล, 2000.
- สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ. “การผลิตไคโตซานจากหัวกุ้งกุลาดำและการใช้ประโยชน์ในการดูดซับโลหะหนัก” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 12 (2540) : 11-19.
- รศ.ดร.ศักดิ์ ไตรศักดิ์. “ความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะหนักกับไคโตซาน.” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 1995.
- APHA, AWWA and WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed., 1995
- Arup k., Sengupta., Yewel Zhu. and Diane Hauze. “Metal(II) Ion binding onto Chelating exchangers with Nitrogen donor atom : some new observations and related implications .” Environ. Sci. Technol., 25 (1991) : 481-488.
- Bassi R., Prasher S.O. and Simpson B.K. “Remediation of metal –contaminated leachate using Chitosan flakes.” Environ. tech. 20 (1999) : 1177-1182.
- Culp, G.L and Culp, R. L. New Concepts in water Purification, 21 (1974) : 105-114.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Dean, J. G., Bosqui, F. L. and Lanouette, K.H. "Removing Heavy Metals from wastewater." Environ.sci.technol. 6 (1972) : 518-521.
- Deans R.J.and Dixon B.G. "Uptake of Pb^{2+} and Cu^{2+} by novel biopolymer." Water Res. 26 (1992) : 469-472.
- Eckenfelder, W.W. Application of Adsorption to Wastewater Treatment. Boston, Butterworth, 1981.
- Eiden C.A., Jewell C.A. and Wightman J.P. "Interaction of Lead and Chromium with Chitin and Chitosan." J.Appl.Polm.Sci. 25 (1980) : 1587-1599.
- Farrar, H. and W.F. Pickering. "Extraction of heavy metal ion sorped on clays." Water Air and soil pollution. 9 (1978) : 491-498
- Faust, S.D. and Aly, O.M. Adsorption Processes for Water Treatment. Stoneham, Butterworth, 1987.
- Haung C., Chung Y. and Liou M. "Adsorption of Cu(II) and Ni(II) by palletized biopolymer." J.Hazard.Material. 43 (1996) : 265-277.
- Jansson-Charrier M., Guibal E., Roussy J. and Le Cloirec P. "Vanadium(IV) sorption by Chitosan: Kinetics and Equilibrium." Water Res. 30(1996) : 465-475.
- Jha I.N., Iyenger L. and Prabhakara Rao A.V.S. "Removal of Cadmium using Chitosan." J.Enviran.Engineer. 114 (1988) : 962-974.
- Moffat A.S. "Plant Proving their Worth in Toxic Metal Cleanup." Science. 269 (1995) : 302-303.
- Ngah W.S.W. and Isa I.M. "Comparison study of Copper ion adsorption on Chitosan, Dowex A-1, and Zerolit 225." J.Appl.Polm.Sci. 67 (1998) : 1067-1070.
- Peniche-Covas C., Alvarez L.W. and Arguelles-Monal W. "The adsorption of Mercuric ion by Chitosan." J.Appl.Polm.Sci. 46 (1992) : 1147.
- Ruey-Shin J., Feng-Chin, Wu., and Ru-Ling, T. "Adsorption removal of Copper(II) using Chitosan from simulated rinse solutions containing chelating agents." Wat. Res. 33 (1999) : 2403-2409.
- Salamone J. Polymeric materials encryclopedia. CRC Press, Vol.3. pp 1201-1234, 1996.
- Saucedo, I., Guibal, E., Roulph, Ch. and Le Cloirec, P. "Sorption of Uranyl ions by a modified Chitosan: Kinetic and equilibrium studies." Environ.tech. 13 (1992) : 1101-1115.

Singh J.,Huang P.M.,Hammer U.T. and Liaw W.K. "Influence of Citric acid and Glycine on the adsorption of Mercury (II) by Kaolinite under various pH conditions." Clays Clay Mineral. 44 (1996) : 41-48.

Udaybhaskar P.,Iyenger L.and Prabhakara Rao A.V.S. "Hexavalent Chromium interaction with Chitosan." J.Appl.Polm.Sci.39 91990) : 739-747.

Wasay S.A.,Barrington S.F. and Tokunga S. "Organic acids to remediate a clay loam polluted by heavy metal." Canada. Agricult.Engineer.40 (1998) : 9-15.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้