

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การล้างแคตเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อน



T107737



รพ
๑๗๖๕๓
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107737
วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2553

b. 12210130
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cadmium-Contaminated Soils Washing



A Special Project Submitted in Partial fulfillment of the Requirement for the Degree

of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang


Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การล้างแค้นเมียมออกจาดินปนเปื้อน
นักศึกษา นางสาวพิลดา พุกบุญมี
 นางสาววรรณรินทร์ สมเกียรติกุล
 นางสาวสุภาวดี ปิยาพันธ์
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	
กรรมการ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	
กรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
กรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	



 (ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
 หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การล้างแคดเมียมออกจากดินปนเปื้อน
นักศึกษา	นางสาวพิลดา พุกบุญมี นางสาววรรณรินทร์ สมเกียรติกุล นางสาวสุภาวดี ปิยาพันธ์
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเทคนิคการล้างดินเพื่อการกำจัดแคดเมียมออกจากดินปนเปื้อน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุผสมกับลิแกนด์ กับชนิดมีประจุลบผสมกับลิแกนด์ ดินที่นำมาทำการทดลองเป็นดินบริเวณห้วยแม่ดาว จังหวัดตาก การทดลองเริ่มต้นด้วยการแบ่งดินเป็น 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ 1 และ 2 เป็นดินที่ไม่มีการเติมสารละลายแคดเมียมในรูปของโลหะซัลเฟต โดยมีแคดเมียมปนเปื้อนมาเท่ากับ 6.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 70.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดินตัวอย่างที่ 3 และ 4 เป็นการนำดินตัวอย่างที่ 1 และ 2 จำนวน 1 กิโลกรัม มาเติมสารละลายแคดเมียมในรูปของโลหะซัลเฟตเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม จำนวน 1 ลิตร จากนั้นทำการทดลองโดยการล้างดินด้วยสารลดแรงตึงผิวผสมกับลิแกนด์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และศึกษาถึงผลของระยะเวลาที่โลหะหนักแคดเมียมสะสมอยู่ในดิน ในการทดลอง สารลดแรงตึงผิวและสารละลายโซเดียมไอโอไดด์มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.025 โมลาร์และ 0.336 โมลาร์ตามลำดับ ควบคุมอัตราการเขย่าที่ 150 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการเขย่า 24 ชั่วโมง ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง และควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 จากนั้นนำดินที่ได้จากการล้างไปย่อยแล้วนำสารละลายทั้งหมดที่ได้ไปวัดหาปริมาณแคดเมียม โดยใช้เครื่องอะตอมมิคแอนะไลเซอร์แบบสเปกโตรมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่า สารละลายไทรทอนเอกซ์-100ผสมกับสารละลายโซเดียมไอโอไดด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดดีกว่าสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตผสมกับสารละลายโซเดียมไอโอไดด์และที่ระยะเวลา 60 วัน มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงกว่าที่ระยะเวลา 100 วัน โดยเปอร์เซ็นต์การกำจัดของสารละลายไทรทอนเอกซ์-100ผสมกับสารละลายโซเดียมไอโอไดด์ในดินทั้ง 4 ตัวอย่างที่ระยะเวลา 60 วัน เท่ากับ 44.26, 58.03, 80.06 และ 75.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

คำสำคัญ : แคดเมียม, การล้างดิน, สารลดแรงตึงผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Cadmium-Contaminated Soils Washing
Name	Miss Pilada Pookboonmee Miss Wanarin Somkietikul Miss Suphawadee Piyaphan
Department	Chemistry
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2005
Special Project Advisor	Asst.Prof.Pitsamai Chairatu-tai Dr.Wiboon Praditweangkum

ABSTRACT

The objective of this special project was the washing of cadmium contaminated soil. Washing solution was two types of synthesis surfactants, non-ionic surfactant, Triton X-100, and anionic surfactant, sodium dodecyl sulfate, combined with sodium iodide solution which the ligand I^- was evaluated as a washing agent for the desorption of cadmium from naturally and artificially contaminated soils. The naturally contaminated soils were sampling from Mae Tao creek, Maesod district, Tak province, then were separated and spiked with cadmium sulfate solution at concentration 200 ppm then were left for 60 days and 100 days. Washing of all soils was then studied on batch mode by using each type of surfactant with sodium iodide solution at concentrations 0.025 molar and 0.336 molar, respectively. For all experiments, the shaking rate, washing time, temperature, pH and pore size filters were fixed at 150 rpm, 24 hours, room temperature, pH 7 and 0.45 μm , respectively. After centrifuged and separated the aliquots, the residue soils were taken to digest using microwave digestion and then filter. All aliquots were then taken to determine the amount of cadmium by atomic absorption spectrophotometer. The results show that the combined solution of Triton X-100 and sodium iodide is more efficiency than the combined solution of sodium dodecyl sulfate and sodium iodide and the period of cadmium contaminated in soils has the effect on the amount of cadmium removal by the cadmium contaminated in soils for 60 days can be removed cadmium better than 100 days at percents removal of 44.26, 58.02, 80.06 and 37.92 percent, respectively

Key words: cadmium, soil washing, surfactant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษสามารถลุล่วงไปด้วยดีในครั้งนี้ สืบเนื่องมาจากความร่วมมือและความกรุณาของคณาจารย์ทุกท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คือ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และคณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาติดตาม ตรวจสอบ แก้ไข และเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนโครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี รวมทั้งแม่บ้านที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในทุกๆด้าน

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัว สำหรับกำลังใจ และขอบคุณเพื่อนๆ รวมถึงรุ่นน้องที่ให้ความช่วยเหลืองานในทุกๆด้านจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จในที่สุด

นางสาวพิลดา

พุกบุญมี

นางสาววรรณรินทร์

สมเกียรติกุล

นางสาวสุภาวดี

ปิยาพันธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 มลพิษของดิน	3
2.2 โลหะหนักในดิน	3
2.3 การล้างดิน	5
2.4 สารลดแรงตึงผิว	6
2.5 การประยุกต์ใช้สารประกอบลิแกนด์กับสารลดแรงตึงผิว	9
2.6 แคลเมียม	10
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	16
3.2 ดินที่ใช้ในการทดลอง	17
3.3 วิธีการทดลอง	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน	23
4.2 การล้างแคลเมียมออกจากดิน โดยใช้สารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมออกจากดิน ด้วยสารลดแรงตึงผิวร่วมกับลิแกนด์ที่ระยะเวลา 60 วัน	26
4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมออกจากดิน ด้วยสารลดแรงตึงผิวร่วมกับลิแกนด์ที่ระยะเวลา 100 วัน	27
4.5 การศึกษาระยะเวลาที่แคดเมียมสะสมในดิน	28
4.6 เพอร์เซ็นต์แคดเมียมที่อยู่ในดิน	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การหาคุณสมบัติของดิน	37
ภาคผนวก ข. การเตรียมสารละลายสต็อกแคดเมียมในรูปโลหะซัลเฟต และการเตรียมดินที่มีแคดเมียมในรูปโลหะซัลเฟต	44
ภาคผนวก ค. ผลการทดลอง	46
ภาคผนวก ง. การเตรียมสารละลายโซเดียมโคเคซิลซัลเฟต สารละลาย ไทรทอนเอกซ์-100 และสารละลายโซเดียมไอโอไดด์	52
ภาคผนวก จ. มาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและการเกษตรกรรม	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดิน	18
4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมี	24
4.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดแคะเมียมออกจากดินที่ ระยะเวลา 2 สัปดาห์และ 4 สัปดาห์	25
4.3 แสดงปริมาณแคะเมียมในดินเริ่มต้นและที่ระยะเวลา 60 วัน	26
4.4 แสดงปริมาณแคะเมียมในดินเริ่มต้นและที่ระยะเวลา 100 วัน	27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิว	7
2.2 สูตร โมเลกุลโซเดียมโคเคซิลซัลเฟต	8
2.3 สูตร โครงสร้างของไทรทอนเอ็กซ์-100	9
4.1 กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตัวอย่าง	24
4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมออกจากดิน ด้วยสารลดแรงตึงผิวร่วมกับลิแกนด์ที่ระยะเวลา 60 วัน	27
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมออกจากดิน ด้วยสารลดแรงตึงผิวร่วมกับลิแกนด์ที่ระยะเวลา 100 วัน	28
4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม ออกจากดินตัวอย่างโดยแปรค่าระยะเวลา	29
4.5 เเปอร์เซ็นต์แคดเมียมที่อยู่ในดิน(60 วัน)	30
4.6 เเปอร์เซ็นต์แคดเมียมที่อยู่ในดิน(100 วัน)	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในโลกยุคปัจจุบันนี้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีและการอุตสาหกรรมเกิดขึ้นมากมาย จึงมีผลทำให้มีโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการทำแบตเตอรี่และการถลุงแร่ซึ่งมีการขยายตัวเป็นอย่างมาก และก่อให้เกิดปัญหามลพิษที่กระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสารมลพิษที่สำคัญอย่างแคดเมียม เมื่อไม่นานมานี้ได้มีเจ้าหน้าที่จากหน่วยงานต่างๆ เช่น กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและเหมืองแร่ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมประมง กรมวิชาการเกษตร กรมทรัพยากรน้ำ กรมควบคุมโรคและกรมอนามัย เป็นต้น เข้ามาตรวจสอบถึงแหล่งกำเนิดมลพิษและการปนเปื้อนของโลหะหนัก ตลอดจนปัญหาสุขภาพของประชาชนในพื้นที่บริเวณห้วยแม่ตา อำเภอมะขาม จังหวัดตาก พบว่ามีการปนเปื้อนโลหะหนักดังกล่าวในปริมาณที่เกินค่ามาตรฐาน EU ถึงแม้จะมีรายงานว่าปริมาณที่ปนเปื้อนนั้นยังคงปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งทำการตรวจสอบโดยการวิเคราะห์ปริมาณสารแคดเมียมตกค้างในสัปดาห์ 5 ชนิด ได้แก่ ปลาสด ปลาแก้มขี้ ปลาหมอไทย ปลากระตี่หม้อ และปลาซัคเกอร์ พบมีค่าความเข้มข้นของสารแคดเมียมอยู่ระหว่าง 0.011-0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่จะต้องไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จึงถือว่ายังคงปลอดภัยต่อผู้บริโภค และสามารถนำสัปดาห์ดังกล่าวมาบริโภคด้วยกระบวนการปรุงสุกได้ แต่ถ้อยยังคงมีการเพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ ก็ย่อมส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยตรงต่อผู้ที่อยู่อาศัยในบริเวณดังกล่าว ถึงแม้ในเรื่องของสาเหตุที่เกิดขึ้นนักวิจัยจากสถาบันจัดการคุณภาพน้ำ (International Water Management Institute-IWMI) สรุปว่า น่าจะเกิดจากการที่ฝนตกชะหน้าดินที่อุดมด้วยแร่สังกะสีและแคดเมียม ลงสู่ต้นน้ำของลำน้ำธรรมชาติ คือ ห้วยแม่ตา ในกรณีนี้ทำให้เกิดการสะสมในตะกอนท้องน้ำ เมื่อปล่อยน้ำเข้าสู่แปลงเกษตร ทำให้เกิดการแพร่กระจายต่อไป อย่างไรก็ตามนักวิจัยสรุปว่าไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะกล่าวได้ว่าสารแคดเมียมมาจากเหมืองสังกะสีที่เปิดทำการอยู่ในบริเวณที่พบการปนเปื้อน (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2547) งานวิจัยนี้จึงเป็นการนำดินจากบริเวณดังกล่าวมาฟื้นฟูสภาพดินโดยวิธีการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว ผสมกับลิแกนด์ เพื่อหาประเภทของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมในการล้างดินปนเปื้อนแคดเมียมและระยะเวลาที่สารผสมจะสามารถล้างแคดเมียมออกไปในปริมาณมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาประสิทธิภาพการล้างดินด้วยสารลดแรงตึงผิวผสมกับลิแกนค์
2. ศึกษาประสิทธิภาพการล้างดิน โดยแปรค่าระยะเวลาที่เคดเมียมสะสมในดิน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินบริเวณห้วยแม่ดาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
2. โลหะหนักที่ศึกษาคือ แคดเมียม
3. สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ คือ สารละลายโซเดียม โดเดซิลซัลเฟต และสารละลายไทรทอน เอกซ์-100 ส่วนสารละลายลิแกนค์ คือ สารละลายโซเดียม ไอโอไดด์
4. ระยะเวลาที่เคดเมียมสะสมในดินคือ 60 และ 100 วัน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถกำจัดแคดเมียมออกจากดินปนเปื้อนให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อนำดินกลับคืนสู่ธรรมชาติ ลดสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 มลพิษของดิน (ศุภมาศ, 2539)

มลพิษของดิน (soil pollution) หมายถึง สภาพความปนเปื้อนของเนื้อดินด้วยสารมลพิษมากเกินไปซึ่งจำกัดจนเกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัย ตลอดจนการเติบโตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ จากคำนิยามจะเห็นได้ว่า ดินเสียจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีสารมลพิษในดิน และดินจะเสียได้ก็ต่อเมื่ออัตราการเพิ่มสารมลพิษลงไปดินมากกว่าการเสื่อมฤทธิ์ หรือการสลายตัวของสารมลพิษนั้นจนเกิดการสะสมสารมลพิษมากขึ้นถึงขั้นเป็นอันตรายต่อภาวะแวดล้อมตัวการที่ทำให้เกิดดินเสียแบ่งได้ 2 ประการคือ

1. โดยธรรมชาติ เช่น ดินเค็ม ดินเปรี้ยว โดยกำเนิด เป็นต้น
2. โดยการกระทำของมนุษย์ เช่น ดินเสียโดยการปนเปื้อนจากอินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร ยากำจัดศัตรูพืช ธาตุพิษ และธาตุโลหะหนักและวัชพืช เป็นต้น

2.2 โลหะหนักในดิน

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) สมบัติทางกายภาพของโลหะหนักคือ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญ คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า จึงสามารถรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะการรวมตัวกับสารอินทรีย์ (Organometallic compound) ซึ่งสามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตโดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร

2.2.1 ลักษณะพฤติกรรมของโลหะหนัก

1. มีการเปลี่ยนแปลงวาเลนซ์ได้
2. ถ้าอยู่ในรูปสารประกอบไฮดรอกไซด์จะมีความสามารถในการละลายต่ำ
3. มีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้สูง
4. ชอบทำปฏิกิริยากับหมู่ซัลไฟด์
5. มีลักษณะคล้ายไอออนบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ปัจจัยที่กำหนดการเปลี่ยนแปลงโลหะหนักในดิน

1. การดูดซับบนพื้นผิวอนุภาคดินเหนียวและฮิวมัส
2. การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับฮิวมัส
3. การถูกดูดซับและตกตะกอน โดย Hydrated acid
4. การเกิดสารประกอบที่ไม่ละลายใน redox potential บางสถานะ หรืออาจตกตะกอนกับคาร์บอเนต ฟอสเฟต ไฮดรอกไซด์

2.2.3 วิธีการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน

1. Isolation and containment คือ วิธีการแยกและควบคุมโลหะหนัก โดยการปรับสภาพให้คงตัว (Solidification) หรือ การปรับสภาพให้เสถียร (Stabilization) เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะหนัก
2. Mechanical separation คือ วิธีการแยกอนุภาคเพื่อนำไปบำบัด โดยใช้เครื่อง Hydrocyclone หรือ Fluidized bed ซึ่งอาศัยหลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และแรงโน้มถ่วง นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมี เช่น สารช่วยการลอยตัว และการแยกโลหะหนักโดยอาศัยแม่เหล็ก
3. Pyrometallurgical separation คือ วิธีการบำบัดสำหรับโลหะหนักที่สามารถระเหยได้ โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-700 องศาเซลเซียส เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการบำบัดปรอท
4. Chemical treatment คือ วิธีการบำบัดทางเคมี โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันหรือการปรับพีเอชด้วยสารละลายกรดหรือเบส เพื่อลดความเป็นพิษ ตกตะกอน หรือเพื่อละลายโลหะหนัก
5. Permeable treatment walls คือ วิธีการบำบัดโดยใช้แผงกั้นที่มีความสามารถในการซึมผ่านเพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน
6. Electrokinetics คือ การแยกไอออนบวกและไอออนลบในน้ำใต้ดิน โดยผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง (แคโทด และ แอโนด)
7. Biochemical process คือ วิธีการบำบัดโดยอาศัยกระบวนการทางชีวเคมี ได้แก่ การชะทางชีวภาพ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นการใช้แบคทีเรียและควบคุมสถานะต่างๆ เช่น ปริมาณออกซิเจน ค่าพีเอช และอุณหภูมิ
8. Phytoremediation คือ วิธีการบำบัดโดยใช้พืชเป็นตัวสกัดโลหะหนักออกจากดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งอาจนำวิธีบำบัดวิธีอื่นมารวมด้วย เช่น การสกัดโลหะหนักด้วยกรด
9. Soil flushing คือ วิธีการสกัดโลหะหนักออกจากดิน โดยใช้น้ำหรือสารละลายชะ

ล้างเจือปนออกมาซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายในแหล่งปนเปื้อนได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. Treatment of sediments คือ วิธีการบำบัดกากตะกอน โดยอาศัยหลักการต่างๆ เช่น Hydrocyclone, Solidification, Stabilization และ การสกัดด้วยสารละลายกรด

11. Soil washing (Chemical leaching) คือ วิธีการกำจัดโลหะหนักออกจากดินปนเปื้อนด้วยการใช้สารละลายสกัดต่างๆ เช่น คีเลตติงก์เอเจนต์ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายนอกแหล่งปนเปื้อนได้

2.3 การล้างดิน

โลหะหนักสามารถกำจัดออกจากดินได้ โดยการเติมสารที่ทำหน้าที่ในการสกัดโลหะหนักซึ่งสารดังกล่าวได้แก่

1. คีเลตติงก์เอเจนต์ (Chelating agent) เช่น Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) เป็นต้น
2. กรดอนินทรีย์ (Inorganic acid) เช่น กรดซัลฟูริก และ กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น
3. กรดอินทรีย์ (Organic acid) เช่น กรดอะซิติก และ กรดซิตริก เป็นต้น
4. สารละลายเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น
5. สารลดแรงตึงผิว
6. ตัวทำละลายซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำ เช่น เมทานอล เป็นต้น
7. ไอออนบวกที่ไม่เป็นพิษ (Nontoxic cation)
8. การใช้สารละลายกรด ร่วมกับ คอมเพลกซิงก์เอเจนต์
9. ออกซิไดส์ซิงก์เอเจนต์
10. รีดิซซิงก์เอเจนต์
11. อื่นๆ

กระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนในดิน แบ่งเป็น 3 ประเภท (กรมธรรมและปนัดดา, 2547) ดังนี้

1. การสกัดด้วยน้ำซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการสกัดต่างๆ มี 3 ประเภท
 - การเติมสารลดแรงตึงผิว เพื่อเพิ่มการละลายของสารปนเปื้อนลงในน้ำ
 - การเติมคีเลตติงก์เอเจนต์ ซึ่งเป็นสารที่เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับโลหะและช่วยให้การละลายดีขึ้น
 - การเติมสารละลายกรดหรือด่าง เพื่อช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ ทำให้เป็นกลาง และทำลายสิ่งปนเปื้อน

2. การใช้สารละลายสกัดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ โดยสารอินทรีย์ที่ละลายได้จะเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกด้วยอากาศ นิยมใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้โดยใช้ไอน้ำหรืออากาศมาประยุกต์ใช้ โดยอาศัยความร้อนและสถานะสูญญากาศ หรือทั้งสองแบบมาช่วยเพิ่มอัตราการสกัด

2.4 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวเป็นสารที่เกิดอยู่บริเวณผิวหน้า ไม่ได้สะสมที่ผิวหน้าของสารเพียงอย่างเดียวแต่ทำการเปลี่ยนคุณสมบัติของผิวหน้าสารบริเวณนั้นด้วย สารลดแรงตึงผิวมีทั้งสังเคราะห์ขึ้นและมีอยู่ตามธรรมชาติ โดยมีคุณสมบัติในการดูดซับบนผิวของตัวกลาง โครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบแอมฟิพาติก (Amphiphatic Structure) คือ ประกอบด้วยส่วนที่มีขั้วหรือส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Portion) และ ส่วนที่ไม่มีขั้วหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Portion) ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวในการกำจัดสารปนเปื้อนขึ้นกับการรวมตัวของโมเลกุลเป็นไมเซลล์ (Micelle) โดยโมเลกุลจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มโดยหันส่วนที่มีขั้วออกมาด้านนอกและด้านในเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว ซึ่งความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่จะทำให้โครงสร้างรวมตัวกันเป็นไมเซลล์ได้นั้น จะต้องมีค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่จุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration, CMC)

สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มขึ้นอยู่กับประจุบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ โดยแยกออกได้เป็น 4 ประเภท

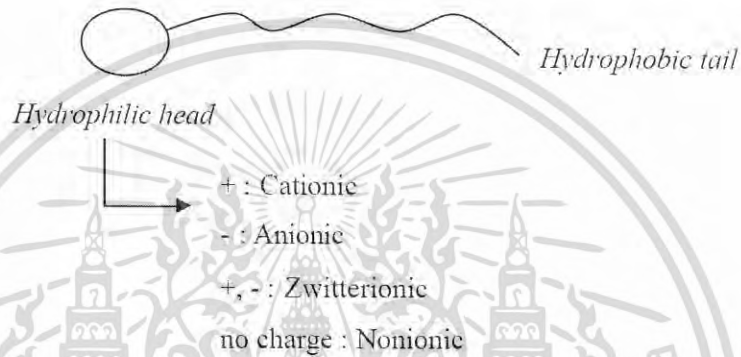
1. Anionic surfactant เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนไฮโดรฟิลิก ให้ประจุลบแสดงอยู่ในรูป คาร์บอกซิเลต ซัลเฟต ซัลโฟเนต หรือ ฟอสเฟต สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภท ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด น้ำยาล้างขาม เป็นต้น โดยใช้มากถึง 49% ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด เนื่องจากสามารถใช้ขจัดคราบสกปรกได้ดี เช่น โซเดียมโดเดซิลซัลโฟเนต

2. Cationic surfactant เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนไฮโดรฟิลิกให้ประจุบวกส่วนมากมักจะเป็นพวกควอเทอร์นารีแอมโมเนียม สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (พีเอช 10 -11) เนื่องจากเกลือแอมโมเนียมจะมีการสูญเสียประจุบวก ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สารลดแรงตึงผิวประเภทประจุบวกจะทำให้เกิดการระคายเคืองมากกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบ นิยมใช้ในพวกน้ำยาปรับผ้านุ่ม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับการจัดแต่งทรงผม เป็นต้น

3. Nonionic surfactant สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะต่างจากสารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบและประจุบวก ตรงที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยมีพวกโพลีเอเทอร์หรือโพลีไฮดรอกซิลเป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ใช้มากในผงซักฟอก น้ำยาล้างถ้วยขาม ผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้ทำด้วยความสะอาดพื้นผิวเป็นต้น เช่น ไทรทอนเอกซ์-100 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Amphoteric surfactant หรือ Zwitterions เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนไฮโดรฟิลิกสามารถให้ได้ทั้งประจุบวกและลบ โดยจะแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสภาวะแวดล้อม ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่าง (พีเอช > 7) ประจุไฟฟ้าบนไฮโดรฟิลิก จะให้ประจุลบถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นกรด (พีเอช < 7) ประจุไฟฟ้าบนไฮโดรฟิลิกจะให้ประจุบวก และในสภาวะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุไฟฟ้าบนไฮโดรฟิลิก สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิวหรือผม ในปัจจุบันยังใช้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น



2.4.1 ความสามารถในการละลายของสารลดแรงตึงผิว

ความสามารถในการละลาย เป็นคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับลักษณะของไมเซลล์ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญเมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ความสามารถในการละลายถูกกำหนดขึ้นโดยคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารตั้งต้นที่เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ สารอินทรีย์ใช้เวลาในการละลายในสารลดแรงตึงผิวสูงกว่าสารลดแรงตึงผิวที่ละลายในน้ำ ณ ความเข้มข้นที่จุดวิกฤต หรือ Critical micelle concentration (CMC)

ตำแหน่งในไมเซลล์ทำให้สารลดแรงตึงผิวมีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันไปโดยขึ้นกับธรรมชาติของสารนั้นๆ ชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารลดแรงตึงผิวและความสามารถในการละลาย การศึกษาความสามารถในการละลายโดยมากจะศึกษาโดยใช้ X-ray และ NMR Spectrometry เป็นต้น

อนุพันธ์ที่เป็นเส้นตรง ไฮโดรคาร์บอนที่เป็นวง และ โมเลกุลชนิดอื่นๆ นั้น จะไม่มีการหักเหแสงในสารละลายตัวกลาง (น้ำ) UV และ NMR Spectra จะทำการวัดส่วนที่ไม่มีขั้วล้อมรอบอยู่ในสารละลายออกมาเป็นค่าของการละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารลดแรงตึงผิวประเภทไอออนิก (Ionic) ความสามารถในการละลายนั้น จะมีอยู่ 3 แบบ คือ

1. พอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว จะละลายในแกนของไมเซลล์าร์ ซึ่งเป็นส่วนหางของไฮโดรคาร์บอน จะไหลไปรวมกันซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการละลาย

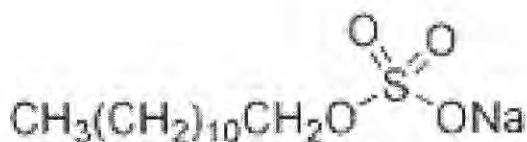
2. โพลีเมอร์ที่มีขั้วจะประกอบไปด้วยสายไฮโดรคาร์บอน และหมู่ไฮโดรฟิลิกอ่อนๆ เช่น สายโซ่ของแอลกอฮอล์ หรือของเอมีน จะถูกรวมเข้าไปในไมเซลล์กับส่วนหางของไฮโดรคาร์บอนในชั้นไมเซลล์ และส่วนหัวของไฮโดรฟิลิกจะยื่นออกมาในสารละลายตัวกลางบริเวณรอบนอกของไมเซลล์าร์

3. สารละลายบางตัวจะไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอนหรือในน้ำ แต่เชื่อกันว่าจะเกิดการดูดซับที่บริเวณไมเซลล์

2.4.2 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS)

โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตมีมวลโมเลกุล 288.38 สูตรโมเลกุล $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_2\text{ONa}$ มีลักษณะเป็นผงสีขาวถึงสีครีม มีกลิ่นอ่อนๆ เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออน เตรียมได้จาก lauryl alcohol ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OH}$) ทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมคาร์บอเนต ควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสดวงตา ผิวหนัง เสื้อผ้า เก็บในภาชนะปิดสนิท อันตรายน้อยถึงปานกลาง หรือ สูดดม ระคายเคืองต่อผิวหนัง และทางเดินหายใจ

โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตทำงานโดยทำลายพันธะที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ในโปรตีน เป็นสาเหตุให้โมเลกุลสูญเสียรูปร่างเดิมของมันไป ไอออนลบของ SDS จะยึดกับโซ่เปปไทด์หลักที่ตัดส่วน SDS ไอออนลบ 1 ตัวต่อทุกๆกรดอะมิโน 2 ตัวที่หลงเหลืออยู่ ประสิทธิภาพของประจุลบบนโปรตีนนี้จะได้สัดส่วนกับมวลของโปรตีน (ประมาณ 1.4 กรัมของ SDS ต่อกรัมของโปรตีน) ประจุลบใหม่นี้จะมีลักษณะที่ดีกว่าประจุเดิมของโปรตีน แรงขับทางไฟฟ้าสถิตจะเกิดขึ้นโดยการสลายตัวของ SDS ซึ่งเป็นสาเหตุให้โปรตีนมีรูปร่างเป็นแบบแท่ง ดังนั้นการกำจัดโมเลกุลที่แตกต่างกันจึงเหมือนกับปัจจัยสำหรับแยกในเจล



รูปที่ 2.2 สูตร โมเลกุล โซเดียม โดเดซิลซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ไทรทอนเอกซ์-100

ไทรทอนเอกซ์-100 มีชื่อทางเคมีอื่นๆ เช่น Octylphenol decaethylene glycoether, Polyethylene glycol mono-[p-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)phenyl]ether ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ เป็นของเหลว ไม่มีสี มีกลิ่นอ่อน ไทรทอนเอกซ์-100 เป็นหนึ่งในสารลดแรงตึงผิวหลายชนิดที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย สาเหตุที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากคุณสมบัติที่สามารถทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ดีในการผสมน้ำกับน้ำมัน มีความคงตัวที่อุณหภูมิและความดันปกติ ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ มีความสามารถในการละลายสูง คือ ละลายได้ในน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขี้ สารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนแต่ไม่ละลายในสารประกอบอะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน นอกจากนี้ยังสามารถผสมได้เป็นเนื้อเดียวกันกับสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นอีกทุกชนิด



รูปที่ 2.3 สูตร โครงสร้างของ ไทรทอนเอกซ์-100

2.5 การประยุกต์ใช้สารประกอบลิแกนด์กับสารลดแรงตึงผิว (Mari, 2004)

สารลดแรงตึงผิวมีศักยภาพในการกำจัดสารปนเปื้อน เช่น โลหะหนัก และมลสารอินทรีย์ แต่ต้องใช้ร่วมกับลิแกนด์ เพราะจะทำให้สารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพที่ดีมาก จากการวิจัย มีการชะโลหะโดยใช้ลิแกนด์ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวซึ่งถูกจำกัดให้ใช้ในรูปของสารละลายไม่ใช่ใช้กับดินโดยตรง สารลดแรงตึงผิวเมื่อถูกใช้กับลิแกนด์จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดทั้งโลหะและมลพิษในรูปสารอินทรีย์ในดินได้ดีพอๆกับในน้ำ ลิแกนด์ไอออนที่มีลักษณะเฉพาะจะสามารถสกัดโลหะที่มีลักษณะเฉพาะจากดิน โดยผ่านสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะในไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว สารประกอบโลหะจะอยู่ในรูปที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งสามารถขจัดให้สารประกอบนั้นละลายได้ในไมเซลล์ ผลก็คือ มีความเป็นไปได้สูงที่จะกำจัดสารประกอบโลหะและ พีซีบี (Polychlorinated Biphenyls) จากดิน ได้พร้อมๆกัน

การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะเกิดจากการสร้างพันธะระหว่างไอออนของโลหะกับลิแกนด์ผ่านปฏิกิริยาการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยโลหะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนส่วนลิแกนด์ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน โดย $[Cd]^{+}$ และ $[Cd]^{2+}$ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนของแคลเซียมไอออนกับไอโอดีไอออนในสารละลายไม

เซลล์าร์ นอกจากนี้ยังพบว่า สารประกอบเชิงซ้อนทั้งในวัฏภาคของสารละลายที่เป็นของเหลวและวัฏภาคของดิน ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในไมเซลล์มีความสัมพันธ์กับเอนทัลปีที่มีค่าเป็นลบในการถ่ายโอนของสารประกอบเชิงซ้อน $[CdI^+]$ และ $[CdI_2]^+$ จากในสารละลายที่เป็นของเหลวและสารละลายที่เป็นไมเซลล์ด้วยเหตุผลดังกล่าวสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำที่ไม่มีความสามารถในการสร้างพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงในน้ำได้จึงเป็นลักษณะของไมเซลล์ในสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวและลิแกนด์ จะมีความเป็นพิษน้อยในดินเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีอื่นๆ เช่น กรดแก่ และ ทีเลตติงเอเจนต์ กรดแก่จะมีโปรตอน (H^+) ซึ่งสามารถดูดซับและเกิดปฏิกิริยาในดิน เป็นผลให้ พิเอชของดินลดลง ทีเลตติงเอเจนต์ได้แก่ อิติทีเอ ซึ่งสามารถสกัดไม่เพียงแต่เฉพาะโลหะหนัก แต่ยังรวมแร่ธาตุที่สำคัญในดินได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และ เหล็กด้วย เนื่องจากมีความสามารถสูงในการเกิดสารเชิงซ้อนกับ โลหะทุกชนิด

อย่างไรก็ตาม สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุและที่มีประจุจะถูกดูดซับได้น้อยในดินเมื่อเปรียบเทียบกับกรดทั้งที่ไม่มีประจุและที่มีประจุ ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นการศึกษาภายใต้สภาวะแอโรบิก ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุจะถูกสลายตัวอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับตัวอย่างลิแกนด์ก็ได้แก่ I^- และ SCN^- ซึ่งคาดว่าไม่น่าจะมีการดูดซับและเกิดปฏิกิริยาได้ดีในดินเนื่องจากมีประจุลบ แตกต่างจากไซยาไนด์และไทโอไซยาเนตซึ่งมีความเป็นพิษต่ำ และจากการศึกษาพลังงานจลน์ก็แสดงให้เห็นว่า SCN^- สามารถย่อยสลายได้ดีที่อัตรา 292 มิลลิกรัม/ลิตร. วัน

ต่อมาได้มีการสกัดไมเซลล์ ซึ่งเป็นตัวกลางของสารลดแรงตึงผิว โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีการใช้ลิแกนด์หลากหลายชนิดในรูปของสารละลาย ในการกำจัดไอออนของโลหะหนัก เช่น แคดเมียม ทองแดง สังกะสี โคบอลต์และนิกเกิล โดยใช้กับไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว ลิแกนด์ที่ไม่ชอบน้ำจะจับกับไอออนของโลหะเป้าหมายแล้วละลายมาในรูปของไมเซลล์าร์ ซูโด - เฟส Fillipi et al. (1998) ได้สกัดทองแดง โดยใช้ลิแกนด์ที่ไม่ชอบน้ำ 1-phenyl-3-isothioethyl-1,3-propanedione กับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก CTAB (n-hexadecyltrimethylammonium bromide) โดยวิธี อัลตรา - ฟิวเรชัน นอกจากนี้ Akita et al. (1999) ยังใช้สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุกับไมเซลล์และลิแกนด์ที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแยกโคบอลต์และนิกเกิลออกจากสารละลาย

2.6 แคดเมียม (Cadmium)

แคดเมียม มีมวลโมเลกุล 112 จุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด 765 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่เป็นเงาแวบส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ประมาณร้อยละ 50 ใช้ในการเคลือบเงาด้วยไฟฟ้าที่เรียกว่า Electroplated coating จะได้ผิวโลหะที่เคลือบด้วยแคดเมียมเป็นเงางามและทนต่อการกัดกร่อน ไม่เป็นสนิมนอกจากจะมีการหลุดลอกของแคดเมียมที่เคลือบอยู่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะที่เคลือบด้วยแคดเมียมจะใช้ในอุปกรณ์รถยนต์ต่างๆ เป็นชิ้นส่วนของเครื่องบิน วิทยุ โทรทัศน์ ตู้เย็น เป็นต้น

ในธรรมชาติแคดเมียมมักจะอยู่รวมกับกำมะถันเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ และ มักปนอยู่ในสินแร่สังกะสี ตะกั่ว หรือทองแดง ฉะนั้นในการทำเหมืองสังกะสี จะได้แคดเมียมซึ่งเป็นผลพลอยได้

นอกจากนี้แคดเมียมยังอยู่ในรูปของสารประกอบต่างๆอีกมากมาย เช่น แคดเมียมซัลไฟด์ และแคดเมียมซัลโฟไซด์ ใช้เป็นตัวสีในสิ่งต่างๆ เช่น พลาสติก สีทา สีพ่น หมึก ยาง เสื้อผ้า และสีที่จิตรกรใช้ในการวาดภาพหรือทาสีงานจิตรกรรมต่างๆเพราะให้สีสวย สารประกอบแคดเมียมบางชนิดใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของพลาสติก เช่น แคดเมียมสเตียเรท

ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะอัลลอยด์ เช่น ผสมกับโลหะทองแดงจะช่วยเพิ่มความเหนียวและความทนทานต่อการสึกหรอให้กับทองแดงด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งยังทนอุณหภูมิสูงด้วย นำไปใช้ผลิตอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องทนความร้อน เช่น ทำหม้อน้ำรถยนต์ หรืออุปกรณ์เครื่องเย็นต่างๆ ที่ต้องระบายความร้อนมากๆ ถ้านำแคดเมียมไปผสมกับโลหะเงินจะได้โลหะอัลลอยด์ที่เงางาม ใช้ในการผลิตเครื่องประดับอัญมณีต่างๆประโยชน์ของแคดเมียมยังขยายการใช้ไปในอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ขนาดเล็กที่เรียกว่า แคดเมียมนิเกิล แบตเตอรี่ (CdNi batteries) สำหรับการใส่กับอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น นาฬิกา เครื่องคิดเลข กล้องถ่ายรูป และวิทยุเล็กๆ เป็นต้น ยังมีสารประกอบแคดเมียมประเภท แคดเมียมโบรไมด์ แคดเมียมไอโอไดด์ ใช้บ้างในการถ่ายรูป นอกจากนี้ยังพบว่าโลหะแคดเมียมใช้ใน Photoelectric cells ผสมในสารฆ่าเชื้อราที่ใช้ในกิจการเกษตร และปัจจุบันยังใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณูด้วย

2.6.1 การกระจายสู่สิ่งแวดล้อม (สมิง และคณะ, 2541)

1. จากอุตสาหกรรม การทำเหมือง การหลอมและการถลุงตะกั่ว และสังกะสี การทำอุตสาหกรรมแคดเมียม
2. จากการเผาของเสียที่มีแคดเมียมประกอบอยู่
3. จากโรงงานชุบแคดเมียม
4. จากปุ๋ยฟอสเฟต
5. จากการสึกกร่อนของสังกะสี
6. จากกากตะกอนของน้ำทิ้ง
7. จากยางรถยนต์ที่สึกหรอ
8. จากการใช้ถ่านหินและ heating oil
9. จากบุหรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 แคลเมียมในดิน

แคลเมียมมีความสามารถในการเคลื่อนที่ไปในอนุภาคดินได้สูงเมื่อดินมีพีเอชต่ำกว่า 6 เพราะว่า Cd^{2+} ถูกดูดซับได้น้อยในสารประกอบอินทรีย์ ซิลิเกตเคลย์ และออกไซด์ ถ้าดินมีสถานะที่พีเอชเป็นกลาง-ด่าง Cd^{2+} จะตกตะกอนในรูปคาร์บอเนตและฟอสเฟต

2.6.3 พิษของแคลเมียมและโรคที่เกิดขึ้น

มนุษย์มีโอกาสได้รับแคลเมียมจาก

1. การหายใจในสถานที่ปฏิบัติงานที่มีแคลเมียมปนอยู่ในอากาศ เช่น ในโรงงานแบตเตอรี่ บริเวณที่มีการเชื่อม โลหะ
2. รับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนแคลเมียม อาหารโดยทั่วไปมีแคลเมียมในระดับต่ำ (มีมากในหอย กุ้ง ปู ตับและไตสัตว์)
3. จากควันบุหรี่ หากได้รับทุกวัน ปริมาณแคลเมียมในร่างกายจะสะสมขึ้นอย่างรวดเร็ว
4. ดื่มน้ำที่ปนเปื้อนแคลเมียม
5. หายใจจากอากาศที่ปนเปื้อนแคลเมียมจากบริเวณที่มีการเผาซากพืชซากสัตว์ หรือเตาเผาขยะจากเมืองใหญ่

การได้รับแคลเมียมจำนวนมากอาจทำให้เกิดพิษเฉียบพลันได้ แต่ส่วนใหญ่โรคที่เกิดจากแคลเมียมมักเป็นชนิดเรื้อรัง โดยการได้รับแคลเมียมติดต่อกันเป็นเวลานาน โรคที่เกิดอาจแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. โรคปอดเรื้อรัง

การได้รับแคลเมียมนานๆ และในปริมาณมากโดยเฉพาะจากการหายใจ จะทำให้เกิดการอุดตันภายในปอด ซึ่งเป็นเพราะมีการอักเสบของหลอดลม มีพังผืดจับในทางเดินหายใจส่วนล่าง และมีการทำลายของถุงลมซึ่งจะกลายเป็นโรคถุงลมโป่งพองในที่สุด ผู้ที่มีความเสี่ยงมากคือคนทำงานกับผงแคลเมียมโดยตรง เช่น โรงงานแบตเตอรี่ขนาดเล็ก

2. โรคไตอักเสบ

โรคนี้จะแสดงออกโดยมีการอักเสบของไต โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ท่อในไตซึ่งจะพบ

แคลเมียมในปัสสาวะสูง มีโปรตีน กลูโคสสูงในปัสสาวะ การทำงานทางท่อในไตเสียการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาดูงาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ขออนุญาต
พบว่าการสะสมของแคลเมียมที่หมวกไตก่อให้เกิดการอักเสบและเป็นอันตรายต่อไป และอาจ
ไม่ทราบถึงใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไตวายได้ในที่สุดการเกิดโรคไตอักเสบนี้จะเป็นแบบถาวร แม้ว่าจะไม่ได้รับแคดเมียมต่อไปแล้ว แต่ไตก็ยังไม่สามารถฟื้นคืนกลับมาดังเดิมได้

3. โรคกระดูก

แคดเมียมทำให้เกิดการสูญเสียแคลเซียมออกมาในปัสสาวะสูง และอาจมีแคดเมียมเข้าไปสะสมในกระดูกทำให้กระดูกพรุน และมีอาการปวดกระดูกอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาการปวดกระดูกสะโพก เช่น ที่เกิดกับชาวญี่ปุ่นที่เมืองฟูซุ ในช่วงก่อนและระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งเรียกโรคนี้ว่า อีไตอิต (itai itai) หรือ เอച്ച് เอച്ച് (ouch ouch) ชื่อโรคมานอกจากเสียงร้องอย่างเจ็บปวดในภาษาญี่ปุ่น ซึ่งได้รับแคดเมียมมากเป็นเวลานานจากการกินข้าวที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียมมาก คนกลุ่มนี้จะมีกระดูกเปราะ แตกหักง่าย และอาจมีความสูงลดลงได้ เพราะการสูญเสียแคลเซียมทำให้เป็นโรคกระดูกพรุน

4. โรคความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจ

พบว่าแคดเมียมทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้นมากและมีโอกาสเป็นโรคหัวใจสูงขึ้นด้วย ซึ่งอาจจะเป็นการร่วมกันกับโรคไตดังที่กล่าวมาแล้ว

5. โรคมะเร็ง

มีข้อมูลการศึกษาติดตามคนงานที่ทำงานสัมผัสกับแคดเมียม เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่แห่งขนาดเล็ก พบว่ามีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งปอด สูงกว่าคนทั่วไปและอาจมีผลต่อการเสี่ยง เป็นโรคมะเร็งของต่อมลูกหมากด้วย

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Abumaizar RJ and Smith EH.(1999) ศึกษาความเป็นไปได้ในการล้างดินทรายโคลนที่สไปล์ด้วยแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองแบบครึ่งและแบบคอลัมน์ ตัวเคิลต์ที่ใช้ในการสกัดคือ disodium salt of ethylenediamine tetraacetic acid (Na_2EDTA) Sodium metabisulfite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) และสารละลายผสมของทั้งสอง การล้างดินที่ปนเปื้อนกับน้ำ DI แสดงให้เห็นว่าแคดเมียมในตัวอย่างประมาณ 70 % สร้างพันธะอย่างอ่อนและเคลื่อนที่ได้ง่ายในสารละลายที่พีเอชเป็นกลาง สังกะสีประมาณ 25-30 % โครเมียมประมาณ 20-25 % และตะกั่วประมาณ 10 % ตัวเคิลต์ที่ใช้ Na_2EDTA มีผลในการกำจัดโลหะหนักจากดินตัวอย่างมากกว่า $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ส่วน Na_2EDTA ชอบที่จะสกัดตะกั่วมากกว่าสังกะสีและแคดเมียมแต่มีผลต่อการกำจัดโครเมียมน้อย สังกะสีและแคดเมียมถูกกำจัดด้วยสารละลาย

เอกสาร Na_2EDTA 0.01 โมลต่อลิตร ผสมกับ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 0.1 โมลต่อลิตร อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Catherine N. Mulligan. et. al. (1999) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารลดแรงตึงผิวที่ผลิตจากแบคทีเรียสายพันธุ์ *Bacillus Subtilis* ที่เรียกว่า surfactin มาใช้สำหรับกำจัดโลหะหนักออกจากดินที่ปนเปื้อน สังกะสี ทองแดง น้ำมันและไขมัน และตะกอนที่มีทองแดงและสังกะสี ผลการทดลองพบว่าหลังจากการล้างดินแบบครั้ง 1 และ 5 ครั้ง ปริมาณทองแดงล้างออกได้ 25 % และ 70 % สังกะสี 6 % และ 25 % แคลเซียม 5 % และ 15% ตามลำดับ ซึ่งถูกกำจัดด้วย surfactin 0.1 % กับ NaOH 1 % สำหรับตะกอนนั้นพบว่า ทองแดง 15 % และ สังกะสี 6 % จะถูกกำจัดด้วย surfactin 0.25 % กับ NaOH 1 % จากการทดลองทำให้ทราบว่าสารสกัดลำดับชั้นมีประโยชน์ในการล้างดินโดยนำดินมาทำการสกัดแบบครั้ง โดยใช้คีเลตดึงเอเจนต์ที่ดีที่เอ กรดซิตริก และกรดไนทรีไลโดโรอะซีตริก พบว่าสามารถกำจัดทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีได้ แต่สารไนทรีไลโดโรอะซีตริกจัดอยู่ในกลุ่มเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่มที่ 2 จึงไม่มีการนำมาใช้ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อน นอกจากนี้ยังพบว่าคีเลตดึงเอเจนต์ชนิดอื่นๆ สามารถนำมาใช้กำจัดโลหะหนักออกจากดินได้เช่นเดียวกัน

Shen Y.H and Yen M.H.(1999) ศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุบนดินธรรมชาติพบว่าส่วนที่ชอบน้ำของเอทิลีนออกไซด์ของสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุนี้สามารถดูดซับกับดินได้ดีมากกว่าส่วนที่ไม่ชอบน้ำของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน และจากสมการแลงเมียร์พบว่าจุดอิ่มตัวสูงสุดมีค่ามากกว่า 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ของสารลดแรงตึงผิวเข้มข้น ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวกับดินนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบแร่ธาตุของพื้นผิวดิน สารอินทรีย์คาร์บอน และค่าพีเอช

Giannis, A. and E. Gidaracos (2005) ทำการล้างดินปนเปื้อนแคลเซียมโดยใช้วิธี electrokinetic ควบคู่ไปกับการล้างดิน การทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเริ่มจากการสร้างโมดูลไฟฟ้า 2 โมดูล เพื่อทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โมดูลแรกใช้ดินที่แช่ในน้ำ ส่วนสารละลายที่ใช้ล้าง คือกรดแอสซิติค กรดไฮโดรคลอริก และ สารละลายอีดีทีเอ หลังจากทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมลดลงบริเวณขั้วแอโนด แต่ก็เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณแคลเซียมถูกล้างไปน้อยลงทำให้ยังคงมีเหลืออยู่บริเวณตรงกลางเซลล์ เป็นเพราะว่าค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น ส่วนในโมดูลที่สองนั้นใช้กรดซิตริก กรดไนตริก และกรดแอสซิติค พบว่าหลังจากทำการทดลองล้างดินแล้ว ปริมาณแคลเซียมถูกกำจัดไปมากถึง 85% จากการทดลองพบว่าค่าพีเอชของดินและสารละลายที่ใช้ล้างดินนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการละลายหรือยึดติดของแคลเซียมในดินภายใต้สนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรสวรรค์ และคณะ (2546) ทำการศึกษาการกำจัดดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยน้ำกลั่น สารละลายอิตีทีเอ และสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต โดยนำดินที่มาจากกรณีศึกษาพื้นที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยการปลูกต้นขลุ้ แล้วแบ่งดินเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 เป็นชุดที่มีการเติมสารละลายโครเมียมลงในดิน 100 พีพีเอ็ม และชุดที่ 2 เป็นดินที่ไม่มีการเติมสารละลายโครเมียม แต่ในการทดลอง เติมสารละลายโครเมียม 100,150 และ 200 พีพีเอ็ม ตามลำดับลงในดินชุดที่ 2 ผลการทดลองพบว่า การล้างดินด้วยน้ำกลั่นสามารถกำจัดโครเมียมในชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ได้เท่ากับ 85 และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากนั้นเมื่อปรับพีเอชของน้ำกลั่นแล้วนำไปล้างดินพบว่า ที่พีเอช 2 สามารถกำจัดโครเมียมได้ดีที่สุดในดินชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ได้เท่ากับ 68 และ 21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตที่มีความเข้มข้นเป็น 3 เท่าของโครเมียมในดิน สามารถกำจัดโครเมียมในดินชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ได้ 96 และ 97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงอาจสรุปได้ว่าสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตที่มีความเข้มข้นเป็น 2 เท่าของโครเมียมในดินมีประสิทธิภาพในการล้างดินมากกว่าน้ำกลั่นและสารละลายอิตีทีเอ

คมสร และปนัดดา (2547) ศึกษาการล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากดิน 4 แหล่ง สารละลายที่ใช้ในการชะล้างคือ สารละลายโซเดียมอิตีทีเอ ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดิน จากนั้นจึงทำการล้างดินตัวอย่างแบบครั้ง โดยแปรค่าความเข้มข้นของสารละลายอิตีทีเอ หลังจากได้ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.15 โมลาร์ จึงทำการแปรค่าอัตราส่วนดินต่อสารละลายซึ่งอัตราที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 กรัมต่อ 30 มิลลิลิตร ในการทดลองจะทำการควบคุมอัตราเร็วในการเขย่า 175 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และกรองผ่านกระดาษกรอง 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายส่วนที่ใสที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโกปีและหาเปอร์เซ็นต์ที่กำจัดได้ ทำการศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักที่อยู่ในรูปต่าง ๆ ในดินโดยวิธีสกัดแบบเป็นลำดับขั้น เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักของสารละลายโซเดียมอิตีทีเอ ผลการทดลองพบว่า ในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น ก่อนการชะล้าง โลหะแคดเมียม โครเมียม และเหล็ก (Cd, Cr, Fe) จะอยู่ในรูปที่เหลือ(residual fraction)มากที่สุด โลหะแมงกานีส นิกเกิล และตะกั่ว (Mn, Ni, Pb) จะอยู่ในรูปที่เหลือ(residual fraction)และรูปรีดิวซ์มากกว่ารูปอื่น ๆ และสัดส่วนของทองแดง (Cu) ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปออกซิไดส์และรูปรีดิวซ์ หลังจากทำการชะล้างพบว่า สารละลายโซเดียมอิตีทีเอมีประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าโลหะหนักในรูปอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์

- 1.ชุดย่อยสลาย (Microwave digestion) รุ่น Milestone microwave Laboratory systems โมเดล 1200 Mega
- 2.เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรมิเตอร์ รุ่น Shimadzu โมเดล AA-680
- 3.พีเอชมิเตอร์
- 4.เครื่องแก้ว
- 5.ช้อนตักสาร
- 6.ขวดน้ำกลั่น
- 7.ตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร
- 8.กระดาษกรอง ยี่ห้อ Advantec
- 9.กระบอกตวงพลาสติก
- 10.บีกเกอร์พลาสติก
- 11.เครื่องเขย่าแนวนอน (Horizontal shaker) ยี่ห้อ Julabo รุ่น SW1
- 12.เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) รุ่น MSB 020.CX1.5
- 13.ไฮโดรมิเตอร์
- 14.เครื่องกวนแม่เหล็ก
- 15.ตู้อบ ของบริษัท Fisher Scientific รุ่น ISOTEMP

3.1.2 สารเคมี

- 1.กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
- 2.กรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น (HF) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
- 3.โซเดียมโอดีเซลซัลเฟต $\{\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_2\text{ONa}\}$ บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
- 4.ไทรทอนเอกซ์-100 $\{\text{C}_8\text{H}_{17}\text{C}_6\text{H}_4(\text{OC}_2\text{H}_4)_{10}\text{OH}\}$ บริษัท Fluka Chemika จำกัด เกรดวิเคราะห์
- 5.แคดเมียมซัลเฟต $\{3\text{Cd}(\text{SO}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O}\}$ บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. โซเดียมไอโอไดด์ (NaI) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
7. สารละลายโซเดียมอะซิเตท (CH_3COONa) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
8. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
9. แอมโมเนียมออกซาลาเทท $\{(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}\}$ บริษัท Fluka Chemika จำกัด เกรดวิเคราะห์
10. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
11. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
12. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
13. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) บริษัท Sigma จำกัด เกรดวิเคราะห์
14. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
15. กรดบอริก (H_3BO_3) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
16. กรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (HCl) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
17. โพแทสเซียมไดโครเมท ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
18. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
19. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต $\{\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}\}$ บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
20. สารละลายกลีโคน ($\text{Na}_6\text{O}_{18}\text{P}_6$) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์
21. เอมีลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$) บริษัท Carlo Erba จำกัด เกรดวิเคราะห์

3.2 ดินที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองนี้ใช้ดินที่เก็บจากพื้นที่ลำห้วยแม่ดาว ตำบล พระธาตุผาแดง อำเภอ แม่สอด จังหวัด ตาก โดยในการทดลองนี้ แบ่งดินเป็น 4 ตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 หมายถึง ดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม 6.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตัวอย่างที่ 2 หมายถึง ดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม 70.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตัวอย่างที่ 3 นำดินตัวอย่างที่ 1 จำนวน 1 กิโลกรัม มาเติมสารละลายแคดเมียมในรูปของ โลหะซัลเฟต $\{3(\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O})\}$ ลงไปในดิน 200 พีพีเอ็ม จำนวน 1 ลิตร

ตัวอย่างที่ 4 นำดินตัวอย่างที่ 2 จำนวน 1 กิโลกรัม มาเติมสารละลายแคดเมียมในรูปของ โลหะซัลเฟต $\{3(\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O})\}$ ลงไปในดิน 200 พีพีเอ็ม จำนวน 1 ลิตร

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดิน

ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดินที่ทำการตรวจวิเคราะห์ คือ พีเอช ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณอินทรีย์สาร ความชื้น และ การกระจายตัวของอนุภาคในดิน โดยใช้การวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดิน

พารามิเตอร์	วิธี/เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์
พีเอช	เครื่องวัดพีเอช
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	วิธีการทำให้อิ่มตัวด้วยแอมโมเนีย
ปริมาณอินทรีย์สาร	วิธีการออกซิเดชันแบบเปียก
ความชื้น	วิธีการวิเมตริก
การกระจายตัวของอนุภาค (ปริมาณทราย ซิลต์ และโคลย์)	เครื่องมือไฮโดรมิเตอร์

หมายเหตุ : ดูวิธีการทดลองในภาคผนวก ก.

3.3.2 การหาปริมาณแคดเมียม

- นำดินที่จะใช้ในการทดลองมาตากลมในที่ร่มเป็นเวลา 5 วัน
- ทำการคຸ່ມตัวอย่างดินโดยใช้วิธีอิสระ จากนั้นบดดินให้ละเอียดแล้วนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร
- ชั่งดินตัวอย่าง 0.25 กรัม โดยทำซ้ำ 3 ซ้ำ
- นำดินไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไคเจสชัน ตามสภาวะการทดลองตามภาคผนวก ก.
- หลังจากย่อยดินเสร็จแล้วตั้งทิ้งให้อุณหภูมิตกลงด้วยการนำไปให้น้ำไหลผ่านและเปิดเวสเซลในตู้ดูดควันเพื่อไล่ไอกรดออกไป
- กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วกรองละเอียดอีกครั้งด้วยกระดาษกรองขนาด 45 ไมโครเมตร ใต้งในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนได้ปริมาตรของสารละลาย 25 มิลลิลิตร
- นำสารละลายที่เตรียมได้ไปหาความเข้มข้นของแคดเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การเติมสารละลายแคดเมียม (spike) ในรูปโลหะซัลเฟตลงไปในดินและหาปริมาณแคดเมียมในดิน

1. นำดินตัวอย่างที่ 1 มาเป็นจำนวน 1 กิโลกรัม ใส่สารละลายแคดเมียมในรูปโลหะซัลเฟตเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม จำนวน 1 ลิตร (ดูวิธีการเตรียมสารละลายแคดเมียมในรูปโลหะซัลเฟตที่ภาคผนวกข.)
2. คลุกเคล้าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 14 วัน
3. ทำการสุ่มตัวอย่างดิน แล้วชั่งดินตัวอย่างละ 0.25 กรัม โดยแต่ละตัวอย่างทำ 3 ซ้ำ
4. นำดินตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไคเจสชันตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ก.
5. หลังจากย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 จากนั้นกรองละเอียดอีกครั้งด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
6. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดหาความเข้มข้นของแคดเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรมิเตอร์

3.3.4 การล้างดิน

3.3.4.1 การล้างดินด้วยสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate)

1. ชั่งดินตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง โดยดินตัวอย่างที่ 1 และ 2 เป็นดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่ได้จากพื้นที่บริเวณลำห้วยแม่ดาว และตัวอย่างที่ 3 และ 4 เป็นดินที่นำดินตัวอย่าง 1 และ 2 มาเติมสารละลายแคดเมียมในรูปของโลหะซัลเฟต $\{3(\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O})\}$ ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ โดยชั่งมาอย่างละ 1.00 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตที่ความเข้มข้นเป็น 3 เท่าของปริมาณแคดเมียมในดินตัวอย่าง ปริมาณ 10 มิลลิลิตร โดยทำซ้ำ 3 ซ้ำ
3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 และกรองละเอียดด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 15 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
5. นำสารละลายที่ได้ไปวัดหาความเข้มข้นของแคดเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรมิเตอร์
6. นำดินที่กรองได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
7. นำดินที่อบไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไคเจสชันตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. หลังจากการย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 และกรองละเอียดด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

9. นำสารละลายที่ได้ไปวัดหาความเข้มข้นของแคดเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิก แอ็บซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์

10. ทำการทดลองแบบเดียวกัน โดยใช้ดินตัวอย่างเดิมแต่เปลี่ยนระยะเวลาที่ แคดเมียมสะสมในดินเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

3.3.4.2 การล้างดินด้วยสารละลายไตรทอนเอกซ์-100 (Triton X-100)

1. ชั่งดินตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง โดยดินตัวอย่างที่ 1 และ 2 เป็นดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่ได้จากพื้นที่บริเวณลำห้วยแม่ดาว และตัวอย่างที่ 3 และ 4 เป็นดินที่นำดินตัวอย่าง 1 และ 2 มาเติมสารละลายแคดเมียมในรูปของโลหะซัลเฟต $\{3(\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O})\}$ ที่ใส่ไว้เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ โดยชั่งมาอย่างละ 1.00 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายไตรทอนเอกซ์-100 (Triton X-100) ที่ความเข้มข้นเป็น 3 เท่าของปริมาณแคดเมียมในดินตัวอย่าง ปริมาณ 10 มิลลิลิตร โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง

3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 และกรองละเอียดด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 15 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

5. นำสารละลายที่ได้ไปวัดหาความเข้มข้นของแคดเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิก แอ็บซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์

6. นำดินที่กรองได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

7. นำดินที่อบไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไคเจสชันตามสภาวะการทดลองดัง

ภาคผนวก ก.

8. หลังจากการย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 และกรองละเอียดด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

9. นำสารละลายที่ได้ไปวัดหาความเข้มข้นของแคดเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิก แอ็บซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์

10. ทำการทดลองแบบเดียวกัน โดยใช้ดินตัวอย่างเดิมแต่เปลี่ยนระยะเวลาที่ แคดเมียมสะสมในดินเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.3 การล้างดินด้วยสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate ; $C_{12}H_{25}O_3Na$) ผสมกับลิแกนค์

1. ชั่งดินตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง โดยดินตัวอย่างที่ 1 และ 2 เป็นดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่ได้จากพื้นที่บริเวณลำห้วยแม่ตาบ และตัวอย่างที่ 3 และ 4 เป็นดินที่นำดินตัวอย่าง 1 และ 2 มาเติมสารละลายแคดเมียมในรูปของโลหะซัลเฟต $\{3(CdSO_4 \cdot 8H_2O)\}$ ที่ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 60 วัน โดยชั่งมาอย่างละ 1.00 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายผสมของสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.025 โมลต่อลิตร กับสารละลายโซเดียมไอโอไดด์ที่ความเข้มข้น 0.336 โมลต่อลิตร ปริมาณ 15 มิลลิลิตร โดยทำซ้ำ 3 ซ้ำ

3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

5. นำสารละลายที่ได้ไปกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 และกรองละเอียดด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 15 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

6. นำสารละลายที่ได้ไปวัดหาความเข้มข้นของแคดเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรมิเตอร์

7. นำดินที่กรองได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

8. นำดินที่อบไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไคเจสชันตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ก.

9. หลังจากการย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 และกรองละเอียดด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

10. นำสารละลายไปวัดหาความเข้มข้นของแคดเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรมิเตอร์

11. ทำการทดลองแบบเดียวกัน โดยใช้ดินตัวอย่างเดิมแต่เปลี่ยนระยะเวลาที่แคดเมียมสะสมในดินเป็นระยะเวลา 100 วัน

3.3.4.4 การล้างดินด้วยสารละลายไตรทอนเอกซ์-100 (Triton X-100) ผสมกับลิแกนค์

1. ชั่งดินตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง โดยดินตัวอย่างที่ 1 และ 2 เป็นดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่ได้จากพื้นที่บริเวณลำห้วยแม่ตาบ และตัวอย่างที่ 3 และ 4 เป็นดินที่นำดินตัวอย่าง 1 และ 2 มาเติมสารละลายแคดเมียมในรูปของโลหะซัลเฟต $\{3(CdSO_4 \cdot 8H_2O)\}$ ที่ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 60 วัน โดยชั่งมาอย่างละ 1.00 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จะนำไปใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.เติมสารละลายผสมของสารละลายไทรทอนเอกซ์-100 ที่ความเข้มข้น 0.025 โมลต่อลิตร กับสารละลายโซเดียมไฮโอไดด์ที่ความเข้มข้น 0.336 โมลต่อลิตร ปริมาณ 15 มิลลิตร โดยทำซ้ำ 3 ซ้ำ แล้วทำเบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นแทนดินตัวอย่าง

3.นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

5.นำสารละลายกรองไปโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วกรองละเอียดด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 15 มิลลิตร ด้วยน้ำกลั่น

6.นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาความเข้มข้นของแคดเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์

7.นำดินที่กรองได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

8.นำดินที่อบไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไคเจสชัน ตามสภาวะการทดลองดัง

ภาคผนวก ก.

9.หลังจากการย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิตร โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 และกรองละเอียดด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

10.นำสารละลายไปวัดหาความเข้มข้นของแคดเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์

11.ทำการทดลองแบบเดียวกัน โดยใช้ดินตัวอย่างเดิมแต่เปลี่ยนระยะเวลาที่แคดเมียมสะสมในดินเป็นระยะเวลา 100 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

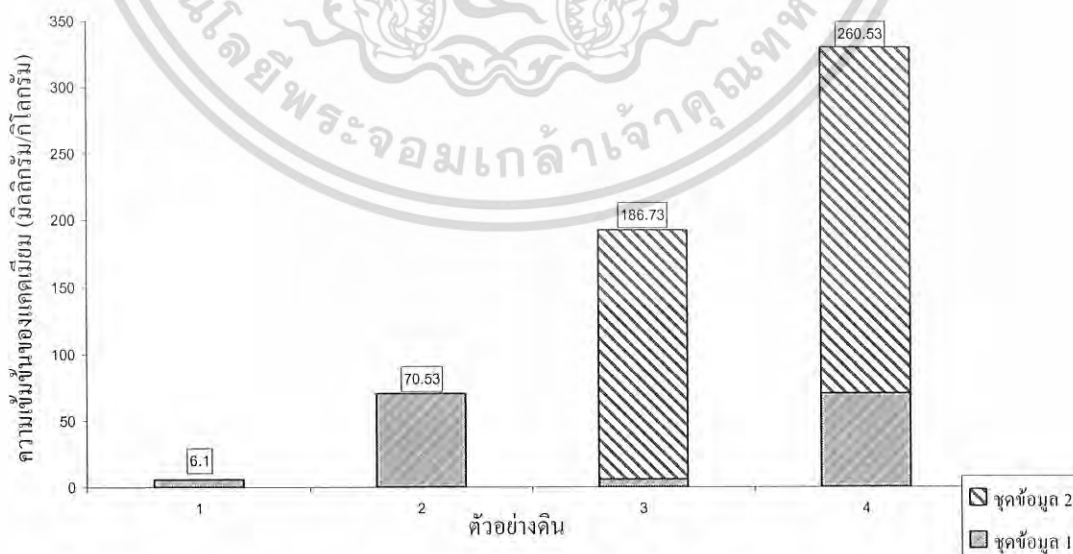
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดิน

ดินตัวอย่างที่ 1 และ 3 เป็นดินชนิดเดียวกัน เช่นเดียวกับดินตัวอย่างที่ 2 และ 4 ดังนั้นเมื่อนำดินตัวอย่างมาหาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดิน จึงพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันดังนี้ ดินตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6 - 7 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในช่วง 13 - 14 มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัมของดิน ปริมาณอินทรีย์สารอยู่ในช่วง 9 - 10 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นอยู่ในช่วง 0.4 - 0.5 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ดินทราย:ดินシルต์:ดินเหนียว เท่ากับ 64:22:13 ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตัวอย่างที่ 1 มีค่าเท่ากับ 6.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อนำมาเติมสารละลายแคดเมียมในรูปโลหะซัลเฟต 200 พีพีเอ็ม จำนวน 1 ลิตร (ดูวิธีการเติมที่ภาคผนวก ข.) ปริมาณที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 186.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณแคดเมียมเดิมและที่เติมลงไปใหม่มีปริมาณน้อยลง ทั้งนี้อาจเกิดจากการสูญเสียระหว่างขั้นตอนการวิเคราะห์ หรืออาจเกิดจากการกระจายตัวของแคดเมียมในตัวอย่างดินเป็นแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (non - homogeneous soil samples)

ส่วนดินตัวอย่างที่ 2 และ 4 มีค่าพีเอชเท่ากับ 7 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในช่วง 9 - 11 มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัมของดิน ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 14 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ดินทราย: ดินซิลต์: ดินเหนียว เท่ากับ 64:22:13 ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตัวอย่างที่ 2 มีค่าเท่ากับ 70.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อนำมาเติมสารละลายแคดเมียมในรูปโลหะซัลเฟต 200 พีพีเอ็ม จำนวน 1 ลิตร ปริมาณที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 260.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีการสูญหายของแคดเมียมเช่นเดียวกับดินตัวอย่างที่ 1 และ 3 แสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมี (n = 3)

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวอย่างดินที่ 1	ตัวอย่างดินที่ 2	ตัวอย่างดินที่ 3	ตัวอย่างดินที่ 4
ค่าพีเอช	-	6.55 ± 0.01	7.79 ± 0.01	7.50 ± 0.01	7.34 ± 0.01
ความจุในการ แลกเปลี่ยนประจุ บวก (CEC)	(มิลลิกรัม สมมูลต่อ 100กรัม ของดิน)	14.60 ± 0.37	11.61 ± 0.40	13.38 ± 0.20	9.05 ± 0.55
ปริมาณอินทรีย์ สาร	(%w/w)	10.23 ± 0.80	14.06 ± 0.90	9.86 ± 0.44	14.83 ± 0.70
ความชื้น	(%w/w)	0.39 ± 0.34	1.13 ± 0.16	0.53 ± 0.01	1.19 ± 0.01
ดินทราย	(%w/w)	64.16	64.23	64.16	64.23
ดินシルต	(%w/w)	22.06	22.08	22.06	22.08
ดินเหนียว	(%w/w)	17.70	18.81	17.70	18.81
ลักษณะเนื้อดิน		Sandy loam	Sandy loam	Sandy loam	Sandy loam
ปริมาณ แคลเซียม	(มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	6.10 ± 0.00	70.53 ± 1.90	186.73 ± 13.19	260.53 ± 2.06



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นของแคลเซียมในดินตัวอย่าง แถบความผิดพลาด

(error bar) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่ามีค่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การล้างแคดเมียมออกจากดินโดยใช้สารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด

การศึกษาในระยะแรกเป็นการศึกษาการล้างดินด้วยสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด คือ สารละลายไทรทอนเอกซ์-100 และสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต ที่ความเข้มข้นเป็น 3 เท่าของปริมาณแคดเมียมในดินแต่ละตัวอย่าง และแปรค่าที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ พบว่าสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตมีประสิทธิภาพในการชะล้างดีกว่าสารละลายไทรทอนเอกซ์-100 สาเหตุอาจเป็นเพราะว่าประจุลบของสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตจะเข้าไปทำปฏิกิริยาโดยตรงกับประจุลบของโลหะแคดเมียมและถูกชะออกมา อย่างไรก็ตาม เพอร์เซ็นต์การกำจัดแคดเมียมของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ชนิดค่อนข้างต่ำ จึงทำการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม (Mari Shin, 2004) พบว่าการนำลิแกนด์เข้ามาใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวจะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมได้ดีขึ้น เนื่องจากโลหะจะเข้าไปสร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับลิแกนด์ในไมเซลล์และละลายออกมา ส่วนชนิดของลิแกนด์ที่ศึกษา คือ สารละลายโซเดียมไอโอไดด์ เนื่องจากงานวิจัยดังกล่าวได้สรุปไว้ว่า ลิแกนด์ของไอโอไดด์มีประสิทธิภาพในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแคดเมียมมากที่สุด ดังนั้น ผู้ทำการทดลองจึงได้เลือกชนิดของลิแกนด์และสภาวะการทดลองตามงานวิจัยของ Mari Shin, 2004 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ (n = 3)

ตัวอย่าง ดิน	% การกำจัดแคดเมียมที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์		% การกำจัดแคดเมียมที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์	
	SDS	Triton x- 100	SDS	Triton x-100
1	0.66±0.01	0.49±0.06	0.20±0.01	0.32±0.02
2	0.79±0.03	0.52±0.02	0.37±0.03	0.65±0.01
3	1.56±0.02	0.66±0.02	0.58±0.01	1.49±0.03
4	2.70±0.07	0.59±0.03	0.45±0.04	2.07±0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

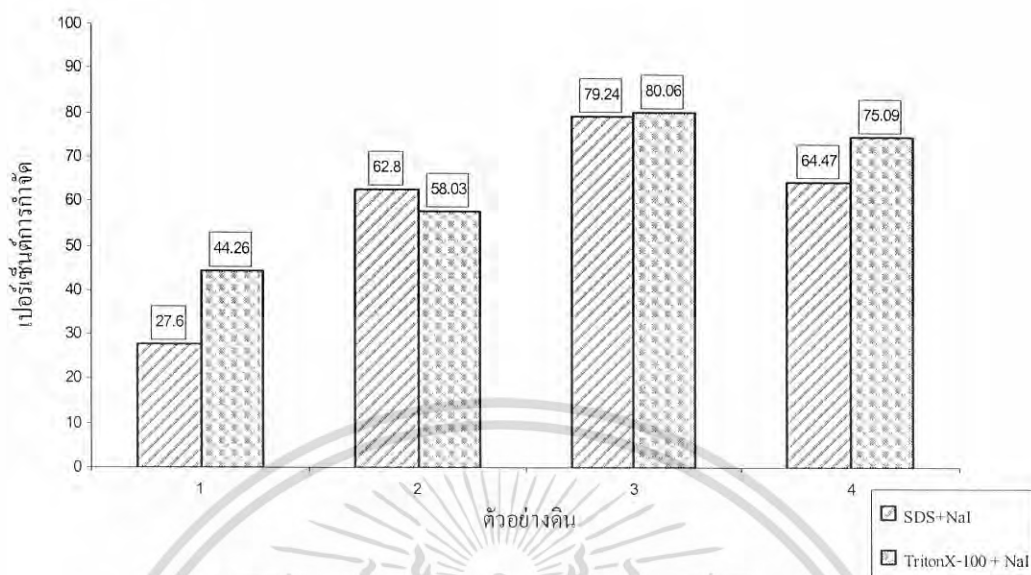
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมออกจากดินด้วยสารลดแรงตึงผิว ร่วมกับลิแกนด์ที่ระยะเวลา 60 วัน

จากผลการทดลองพบว่าในดินตัวอย่างที่ 1 และ 4 สารละลายไทรทอนเอกซ์-100 ร่วมกับ สารละลายโซเดียมไอโอไดด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมดีกว่าสารละลายโซเดียมโคเค ซิลซัลเฟตร่วมกับสารละลายโซเดียมไอโอไดด์ โดยในดินตัวอย่างที่ 1 และ 4 มีเปอร์เซ็นต์การ กำจัดเท่ากับ 44.26 และ 75.09 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mari Shin, 2004 ที่สรุปว่า สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (ไทรทอนเอกซ์-100) มีความสามารถในการทำให้สารประกอบ เจริงซ้อนของโลหะกับลิแกนด์ของสารละลายโซเดียมไอโอไดด์มีความสามารถในการละลายได้ มากกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (สารละลายโซเดียมโคเคซิลซัลเฟต) สาเหตุอาจเป็นเพราะ สารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่มีประจุจะสร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับลิแกนด์ที่มี คุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวประจุลบ ส่วนในดินตัวอย่างที่ 2 และ 3 พบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัดของสารละลายไทรทอนเอกซ์-100ร่วมกับสารละลายโซเดียมไอโอไดด์มีค่า เท่ากับ 58.03 และ 80.06 ขณะที่สารละลายโซเดียมโคเคซิลซัลเฟตร่วมกับสารละลายโซเดียม ไอโอไดด์มีค่าเท่ากับ 62.80 และ 79.24 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณแคดเมียมในดินเริ่มต้นและที่ระยะเวลา 60 วัน (n = 3)

ตัวอย่าง ดิน	ปริมาณแคดเมียมในดิน เริ่มต้น (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียม ในดินหลังล้าง (mg/kg)		ปริมาณแคดเมียมที่ถูกชะ ออกมา (mg/kg of dry soil)	
		SDS+NaI	Tritonx-100 +NaI	SDS+NaI	Tritonx-100 +NaI
1	6.10±0.00	4.42±0.64	3.40±0.40	0.92±0.08	1.25±0.88
2	70.53±1.90	25.33±1.05	30.19±0.28	25.49±0.52	27.05±0.41
3	186.73±13.19	38.76±7.75	37.23±3.93	30.18±0.64	30.76±0.19
4	260.53±2.06	92.56±13.75	64.90±5.45	23.12±1.75	29.93±0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมออกจากดินด้วยสารลดแรงตึงผิวร่วมกับลิแกนด์ที่ระยะเวลา 60 วัน

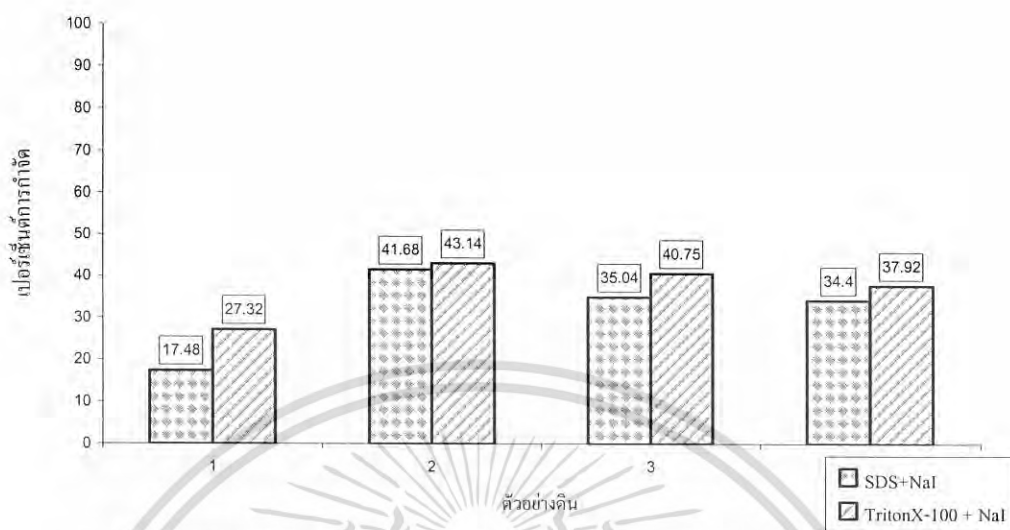
4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมออกจากดินด้วยสารลดแรงตึงผิวร่วมกับลิแกนด์ที่ระยะเวลา 100 วัน

ผลการทดลองที่ระยะเวลา 100 วัน มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับที่ระยะเวลา 60 วัน โดยสารละลายไทรทอนเอกซ์-100ล้างแคดเมียมออกได้มากกว่าสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตในดินทุกตัวอย่าง โดยสารละลายไทรทอนเอกซ์-100 มีความสามารถในการกำจัดแคดเมียมในดินตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 ได้เท่ากับ 27.32, 43.14, 40.75 และ 37.92 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณแคดเมียมในดินเริ่มต้นและที่ระยะเวลา 100 วัน (n = 3)

ตัวอย่างดิน	ปริมาณแคดเมียมในดินเริ่มต้น (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินหลังล้าง (mg/kg)		ปริมาณแคดเมียมที่ถูกชะออกมา (mg/kg of dry soil)	
		SDS+NaI	Tritonx-100+NaI	SDS+NaI	Tritonx-100+NaI
1	6.10±0.00	5.03±0.16	4.43±0.24	0.84±0.32	1.15±0.10
2	70.53±1.90	41.13±1.41	40.10±25.39	24.04±0.66	27.27±2.02
3	186.73±13.19	121.30±0.82	110.60±5.00	29.38±0.58	30.01±0.23
4	260.53±2.06	170.90±1.19	161.75±3.29	15.83±1.19	25.00±3.08

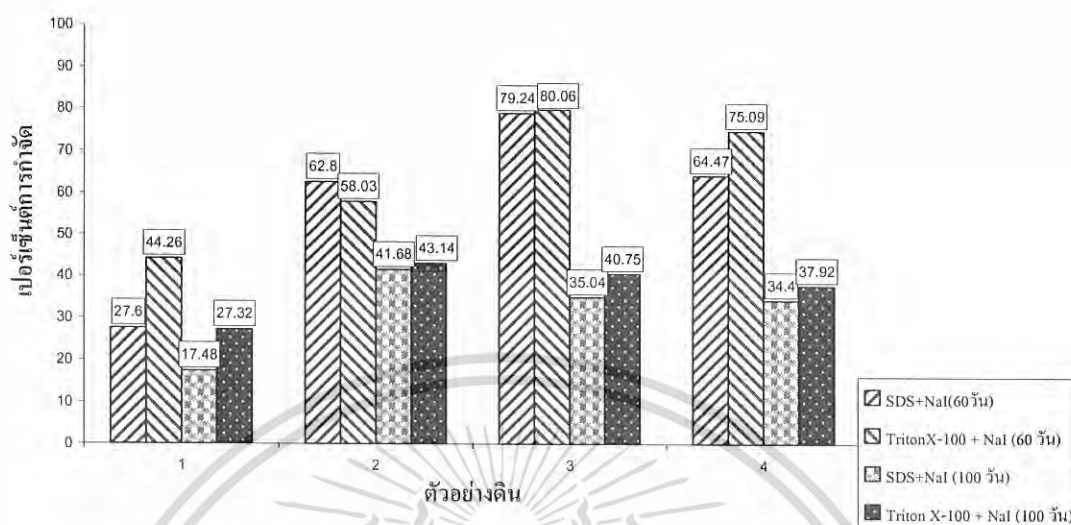
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมออกจากดินด้วยสารลดแรงตึงผิวร่วมกับลิแกนด์ที่ระยะเวลา 100 วัน

4.5 การศึกษาระยะเวลาที่แคดเมียมสะสมในดิน

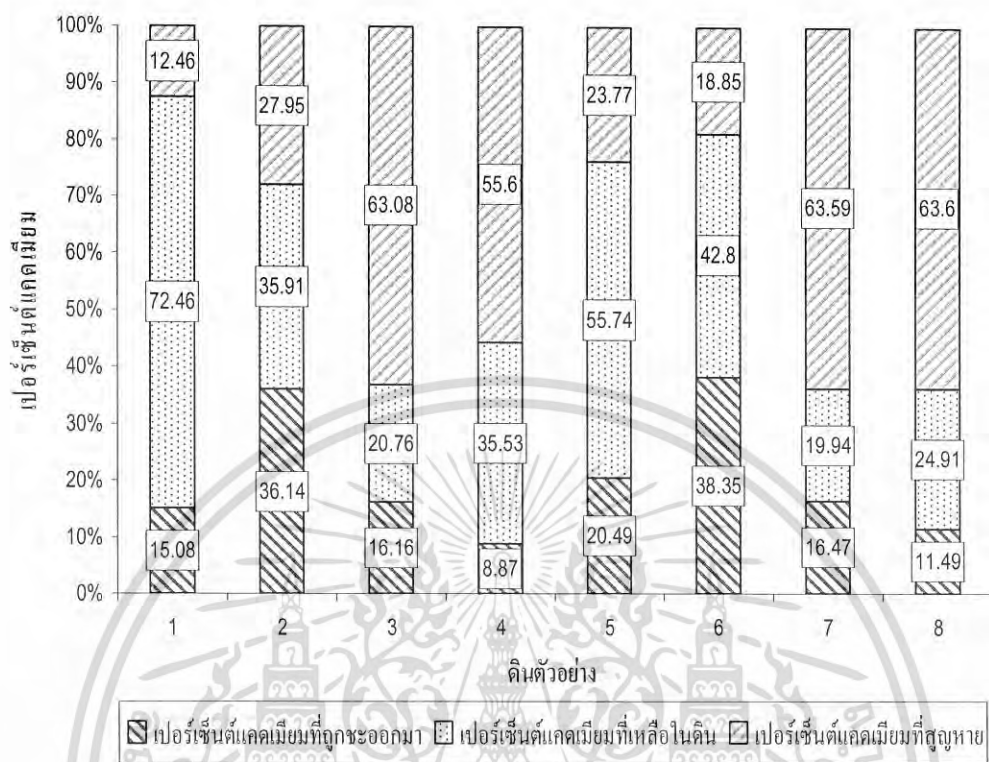
จากรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดแคดเมียมออกจากดินพบว่าที่ระยะเวลา 100 วัน ประสิทธิภาพการชะล้างแคดเมียมออกจากดินด้วยสารละลายไทรทอนเอกซ์-100ร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮโอไดด์จะต่ำกว่าที่ระยะเวลา 60 วัน โดยมีค่าเท่ากับ 27.32, 43.14, 40.75 และ 37.92 ตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลา 60 วัน เปอร์เซ็นต์การกำจัดแคดเมียมออกจากดินตัวอย่างเท่ากับ 44.26, 58.03, 80.06 และ 75.09 ตามลำดับ สาเหตุอาจเกิดจากที่ระยะเวลายาวนานขึ้น โอกาสที่แคดเมียมทำปฏิกิริยากับอินทรีย์วัตถุหรือโลหะหนักชนิดอื่นหรืออาจจะตกตะกอนในรูปคาร์บอเนตและฟอสเฟตมีมากขึ้น ทำให้การชะล้างออกได้ยาก



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินตัวอย่าง โดยแปรค่าระยะเวลา

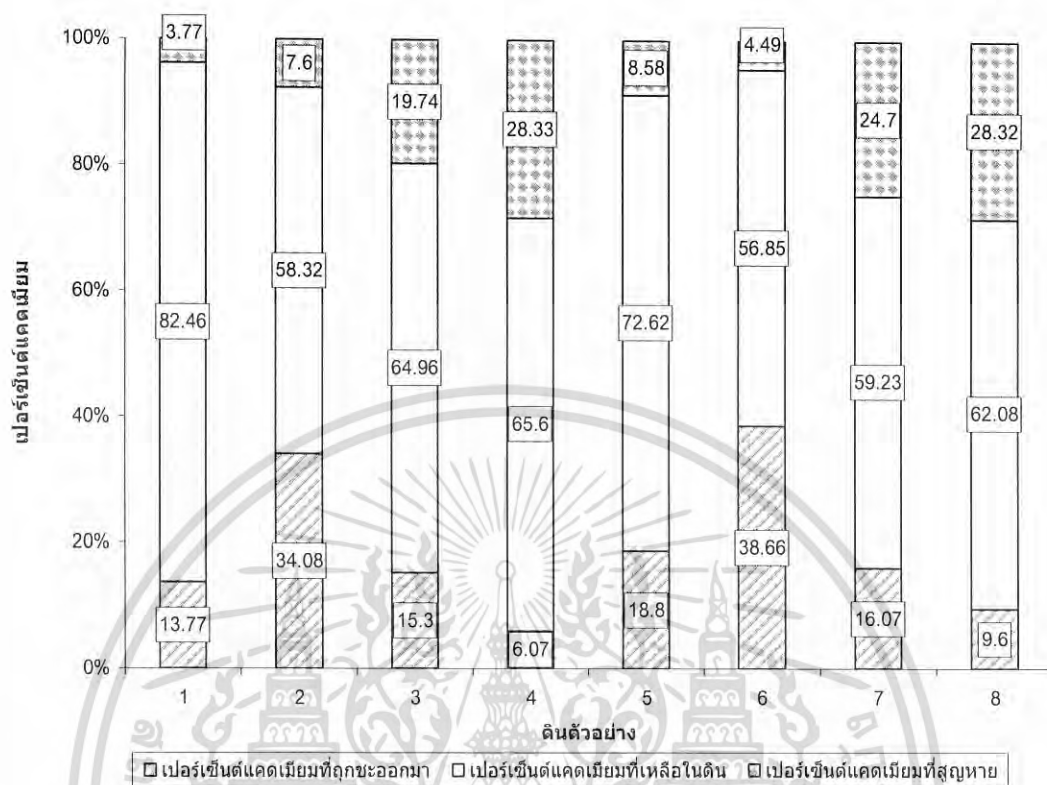
4.6 เพอร์เซ็นต์แคดเมียมที่อยู่ในดิน

รูปที่ 4.6 เป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์แคดเมียมที่มีในดินที่ระยะเวลา 60 วัน เมื่อนำดินมาชะล้างด้วยไตรทอนเอกซ์-100 ร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮโอไดด์ พบว่าปริมาณที่ชะล้างออกมาอยู่ในสารละลายเท่ากับ 20.49, 98.35, 16.47 และ 11.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่เหลืออยู่ในดินเท่ากับ 55.74, 42.80, 19.94 และ 24.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณแคดเมียมอีกส่วนหนึ่งสูญหาย เท่ากับ 23.77, 18.85, 63.59 และ 63.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากแคดเมียมยึดติดอยู่กับซัลไฟด์และออกไซด์ในดินด้วยกลไกหลายชนิด เช่น การดูดซับ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ส่วนที่ระยะเวลา 100 วัน (ดังรูปที่ 4.7) มีเปอร์เซ็นต์แคดเมียมสูญหายเท่ากับ 8.58, 4.49, 24.70 และ 28.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 เปอร์เซินต์แคะเมียมที่อยู่ในดิน (60 วัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์แคตเมียมที่อยู่ในดิน (100 วัน)

หมายเหตุ

- 1 : ดินตัวอย่างที่ 1 ล้างด้วยสารละลายโซเดียมโอดีซิลซัลเฟตกับสารละลายโซเดียมไอโอดี
 - 2 : ดินตัวอย่างที่ 2 ล้างด้วยสารละลายโซเดียมโอดีซิลซัลเฟตกับสารละลายโซเดียมไอโอดี
 - 3 : ดินตัวอย่างที่ 3 ล้างด้วยสารละลายโซเดียมโอดีซิลซัลเฟตกับสารละลายโซเดียมไอโอดี
 - 4 : ดินตัวอย่างที่ 4 ล้างด้วยสารละลายโซเดียมโอดีซิลซัลเฟตกับสารละลายโซเดียมไอโอดี
 - 5 : ดินตัวอย่างที่ 1 ล้างด้วยสารละลายไทรทอนเอกซ์-100กับสารละลายโซเดียมไอโอดี
 - 6 : ดินตัวอย่างที่ 2 ล้างด้วยสารละลายไทรทอนเอกซ์-100กับสารละลายโซเดียมไอโอดี
 - 7 : ดินตัวอย่างที่ 3 ล้างด้วยสารละลายไทรทอนเอกซ์-100กับสารละลายโซเดียมไอโอดี
 - 8 : ดินตัวอย่างที่ 4 ล้างด้วยสารละลายไทรทอนเอกซ์-100กับสารละลายโซเดียมไอโอดี
- คู่มือคำนวณจากภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้มี 4 ตัวอย่าง โดยลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดินเหมือนกัน แตกต่างกันที่ปริมาณแคดเมียม โดยดินตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีปริมาณแคดเมียมเท่ากับ 6.1 และ 70.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินตัวอย่างที่ 3 และ 4 เป็นดินที่มีการเติมสารละลายแคดเมียมในรูปโลหะซัลเฟตลงไปในดิน 200 พีพีเอ็ม วิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมได้ 186.73 และ 260.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำดินทั้ง 4 ตัวอย่างมาล้างแคดเมียมออกที่ระยะเวลา 60 และ 100 วัน โดยใช้สารละลายไทรทอนเอกซ์-100 ร่วมกับสารละลายโซเดียมไอโอไดด์ เปรียบเทียบกับการล้างด้วยสารละลายโซเดียมโคเคซิลซัลเฟต ร่วมกับสารละลายโซเดียมไอโอไดด์

ผลการศึกษาพบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดแคดเมียมในดินปนเปื้อนโดยสารละลายไทรทอนเอกซ์-100 ร่วมกับ สารละลายโซเดียมไอโอไดด์ที่ระยะเวลา 60 วัน เท่ากับ 44.26, 58.03, 80.06 และ 75.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 100 วัน มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 27.32, 43.14, 40.75 และ 37.92 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์การกำจัดแคดเมียมในดินปนเปื้อนโดยสารละลายโซเดียมโคเคซิลซัลเฟต ร่วมกับ สารละลายโซเดียมไอโอไดด์ที่ระยะเวลา 60 วันเท่ากับ 27.60, 62.80, 79.24 และ 64.47 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 100 วัน เท่ากับ 17.48, 41.68, 35.04 และ 34.40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าวจึงสามารถสรุปได้ว่า

1. สารละลายไทรทอนเอกซ์-100ผสมกับสารละลายโซเดียมไอโอไดด์มีประสิทธิภาพในการล้างดินปนเปื้อนมากกว่าสารละลายโซเดียมโคเคซิลซัลเฟตผสมกับสารละลายโซเดียมไอโอไดด์
2. ที่ระยะเวลา 60 วัน มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดแคดเมียมออกจากดินสูงกว่าดินที่ระยะเวลา 100 วัน ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากที่ระยะเวลายาวนานขึ้น โอกาสที่แคดเมียมทำปฏิกิริยากับอินทรีย์วัตถุหรือโลหะหนักชนิดอื่นหรืออาจจะตกตะกอนในรูปคาร์บอเนตและฟอสเฟตมีมากขึ้น ทำให้การชะล้างออกได้ยาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก
2. ควรมีการใช้สารลดแรงตึงผิวจากธรรมชาติเช่น กรดฮิวมิก
3. ควรมีการศึกษาสัดส่วนของแคตเมียมในรูปต่างๆ ในดิน
4. ควรมีการศึกษาปริมาณคาร์บอนต และฟอสเฟตในดินเพิ่มเติม
5. ในการศึกษาปริมาณดินและจำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ควรมีจำนวนมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กาญจน์ทิพ สติฐนเนส และนวลจิรา วโรตตมะ. 2544. การดูดซับฟีนอลของเม็ดคาร์บอนที่พื้นสภาพโดยใช้สารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- คมสรวิ ศิริติกุล และปนัดดา รุจะศิริ. 2547. การล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้สารละลายโซเดียมฮีททีโอ. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พรสรวง มากมณี, พิมพ์พิมล คงจินดา และภาสกร ศรีจีว. 2546. การล้างโครเมียมออกจากดินปนเปื้อน. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สมิง เก่าเจริญ, วินัย วนานุกูล และจินตนา ศิริวราศัย. 2542. รายงานผลการวิจัย การศึกษาระดับแคดเมียมและโครเมียมในเลือดและปัสสาวะของกลุ่มคนสุขภาพแข็งแรงที่ไม่ได้ทำงานสัมผัสกับโลหะหนัก. สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงแรงงาน.
- ศุภมาส พนิษศักดิ์พัฒนา. 2539. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Coby S. C. Wong and Xiangdong Li, 2003. **Analysis of Heavy Metal Contaminated soils.** Practice periodical of hazardous, toxic, and radioactive waste management, pp.12-18.
- Giannis Apostolos and Gidaracos Evangelos. 2005. **Washing enhanced electrokinetic remediation for removal cadmium from real contaminated soil.** Journal of Hazardous Materials Vol 123,issue 1-3,pp. 165-175.
- Mari Shin. 2004. **Surfactant/Ligand Systems for the Simultaneous Remediation of Soils Contaminated with Heavy metals and Polychlorinated biphenyls.** Thesis of Doctor of Philosophy. Department of Bioresource Engineering. Macdonald Campus of McGill University.
- Priit Alumaa, Uuve Kirso, Valter Petersell and Eiliv Steinnes. 2002. **Sorption of toxic heavy metals to soil.** International Journal of Hygiene and Environmental Health, vol 204,issue 5-6, pp.375-376.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_dodecyl_sulfate (โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต, นีรนาม, 23

ตุลาคม พ.ศ.2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_21_001c.asp?info_id=258 (การปนเปื้อนของสาร
แคดเมียม อ.แม่สอด จ.ตาก, ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 15 สิงหาคม พ.ศ.2548)
- http://www.dmr.go.th/news/29_03_47_2.html (การปนเปื้อนของสารแคดเมียม อ.แม่สอด จ.ตาก,
สำนักพิมพ์ข่าวสด, 15 สิงหาคม พ.ศ.2548)
- http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_7_2548_surfactant.pdf (สารลดแรงตึงผิว, จีรสา
กรงกรด, 18 กันยายน พ.ศ.2548)
- http://www.ddd.go.th/ofsnews/news_47/news_47/news_47_118.htm (การปนเปื้อนของสาร
แคดเมียม อ.แม่สอด จ.ตาก, ประกิต เฟิงวิชัย, 15 สิงหาคม พ.ศ.2548)
- http://www.nsrc.or.th/th/_contents/Safety/chemical/msds.php?id=76 (ไทรทอนเอกซ์-100, นิร
นาม, 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2549)
- <http://www.pcd.go.th> (กรมควบคุมมลพิษ, 12 ธันวาคม พ.ศ.2548)
- <http://www.sciencedirect.com> (งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง, นิรนาม, 16 มิถุนายน พ.ศ.2548)
- <http://www.thairath.co.th/thairath1/2547/educat/jan/17/edu1.php> (การปนเปื้อนของสาร
แคดเมียม อ.แม่สอด จ.ตาก, หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ, 16 กันยายน พ.ศ.2548)
- <http://www.tws.ac.th/thoenwit/Library/charpa/www.charpa.co.th/bulletin/cadmium.html>
(แคดเมียม, นิรนาม, 29 ตุลาคม พ.ศ.2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (ก่องวิเคราะห์ดิน , 2535)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตท 1 นอร์มอล ลงไป 20 มิลลิลิตร ปิดจุกขวดฯ ให้เข้ากันทิ้งไว้ค้างคืน

2. เขย่าสารละลายดิน 30 นาที โดยใช้เครื่องเขย่าฯ จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง นาน 20 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง

3. ล้างดินออกด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 นอร์มอล ครั้งละ 30 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงแยกเอาส่วนใสออกจนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบดูโดยนำส่วนใสที่ได้จากการล้างแต่ละครั้ง ประมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองใส่แอมโมเนียมคลอไรด์ 1 นอร์มอล แอมโมเนียมออกซาลาต 10% และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50% อย่างละ 2-3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้าเกิดตะกอนหรือสารละลายขุ่น แสดงว่ามีแคลเซียมตกค้างอยู่)

4. ล้างตัวอย่างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 นอร์มอล 4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 นอร์มอล อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 7 ครั้งๆละ 30 มิลลิลิตร โดยนำไปปั่นเหวี่ยงนานประมาณ 3-5 นาที เพื่อแยกเอาส่วนใสออกจนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่(ทดสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 นอร์มอล 2-3 หยด ถ้ามีตะกอนขาวของ AgCl แสดงว่ามีคลอไรด์เหลืออยู่)

5. นำสารละลายจากข้างต้นทิ้งไป นำตัวอย่างดินที่ได้มาล้างด้วยโซเดียมคลอไรด์ 10% เพื่อไล่แอมโมเนียมในดิน โดยล้างครั้งละ 30 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง นำไปปั่นเหวี่ยง เก็บส่วนใสไว้

6. นำส่วนใสที่ได้จากสารละลายดินมาใส่ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรรวมจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

7. นำสารละลายดินที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียมออกมาโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ลงไป 25% ใส่ใน Kjeldahl flask ที่ปลายคอนเดนเซอร์(Condenser) จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริกซึ่งใส่อินดิเคเตอร์ผสมไว้ 2-3 หยด กลั่นจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว

8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มอล จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง

9. กลั่นแบบลงค์และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

$$CEC = \left[\frac{(A-B)N \times 100}{X} \right] \quad \text{มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มิลลิลิตร)
 B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์
 N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)
 X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน

2.การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารโดยวิธี Walkley and Black (กองวิเคราะห์ดิน , 2535)

- 1.ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.เติมน้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมท 1 นอร์มอล ลงไป 10 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต
- 3.เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไป 15 มิลลิลิตร เขย่าขวดแก้วเบาๆเป็นเวลา 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ดินและน้ำยาทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที
- 4.เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น
- 5.ไทเทรตสารละลายที่ได้ด้วยน้ำยาเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 นอร์มอล เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทที่เหลือจากปฏิกิริยาจนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ
- 6.จดปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทและเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้
- 7.ทำแบลงค์เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ดิน
- 8.คำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุ

การคำนวณ

$$\% \text{ Organic carbon} = \left(\frac{(B-T)N}{B} \right) \times \left(\frac{100}{77} \right) \times 0.003 \times \left(\frac{100}{X} \right) \times 10$$

- N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท
 B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์
 T = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน
 X = น้ำหนักดิน

$$\% \text{ Organic matter} = \% \text{ Organic carbon} \times 1.724$$

$$\text{หรือ } \% \text{ Organic matter} = \left(\frac{(B-T)N}{B} \right) \times \left(\frac{100}{77} \right) \times \left(\frac{100}{58} \right) \times 0.003 \times \left(\frac{100}{X} \right) \times 10$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาค่าความชื้น (นัทขีร์ญา, 2545)

1. ชั่งกระจกนาฬิกาที่สะอาด
2. นำตัวอย่างดินมาชั่ง 10 กรัม ลงบนกระจกนาฬิกา จดบันทึกน้ำหนักเปียก
3. นำเข้าไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเคซิเคเตอร์
4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

การคำนวณ

$$\% \text{ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักเปียก}}$$

4. การหาเปอร์เซ็นต์ดินทราย ดินซิลต์ และดินเหนียว

1. ใช้ตัวอย่างดิน โดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. ได้ดินผงเนื้อละเอียด 50 กรัม และดินเนื้อหยาบ 100 กรัม
2. เติมน้ำละลายคลัตคอน 5% จำนวน 100 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นลงไป ใน dispersion cup ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. ปั่นด้วยเครื่องปั่น 2-5 นาที ถ่ายสิ่งที่ปั่นลงไป ใน sedimentation cylinder
4. ใช้น้ำล้างสิ่งต่างๆ ใน cup ลงไปในกระบอกแก้วให้หมด และเติมน้ำลงไป ขณะที่มีไฮโดรมิเตอร์จุ่มอยู่ในกระบอกแก้ว จนถึงขีดระดับที่ปากกระบอกแก้ว (ขีดล่างสำหรับตัวอย่างดินหนัก 50 กรัม ขีดบนสำหรับตัวอย่างดินหนัก 100 กรัม)
5. ดึงไฮโดรมิเตอร์ออก ทำการเขย่าหรือใช้เหล็กสำหรับกวนเพื่อทำให้เกิดสารแขวนลอยดินที่สมบูรณ์ชั่วกระยะหนึ่ง
6. เริ่มจับเวลาค่อยๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงไป อ่านค่าทันที เมื่อครบ 40 วินาที สมมติอ่านได้ a กรัมต่อลิตร (ถ้ารวมของปริมาณของกลุ่มขนาดซิลต์ ดินเหนียว และคลัตคอน) วัดอุณหภูมิของสารแขวนลอยดินขณะนั้น ได้ t_{40} อ่านค่าอีกครั้งเมื่อครบ 2 ชั่วโมง สมมติว่าอ่านได้ b กรัมต่อลิตร (ถ้ารวมของปริมาณของกลุ่มขนาด ดินเหนียว และคลัตคอน) t_2

7. ในกระบอกแก้วอีกอันหนึ่ง ตวงคลัตคอน 5% จำนวน 100 มิลลิลิตร เติมน้ำจนถึงขีดกำหนดอันเดียวกันขณะที่มีไฮโดรมิเตอร์จุ่มอยู่ เขย่าหรือกวนให้เท่ากัน อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ สมมติว่าได้ c กรัมต่อลิตร ที่ t_0 และไฮโดรมิเตอร์ที่ใช้อ่านได้ถูกต้องที่ L° คำนวณเปอร์เซ็นต์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากไฮโดรมิเตอร์ที่ใช้วัดอ่านค่าได้ถูกต้องที่อุณหภูมิที่กำกับอยู่บนก้านของมันคือ L° (ขณะที่ใช้ในห้องปฏิบัติการนี้เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส) ดังนั้นการอ่านค่าในสารแขวนลอยดินเมื่อ 40 วินาที และ 2 ชั่วโมง และของสารละลายคัลคอน ถ้าหากไม่อ่านที่อุณหภูมิ L° ต้องปรับค่าให้ถูกต้องด้วยสูตร

$$R_s = R_t + 0.36 (t-L) \quad \text{สำหรับสารแขวนลอยดิน}$$

$$C_s = C_t + 0.50 (t_c-L) \quad \text{สำหรับสารละลายคัลคอน}$$

ในที่นี้

R_s = ค่าที่ควรอ่านได้ของสารแขวนลอยดินที่อุณหภูมิ L° หรือเมื่อไฮโดรมิเตอร์อ่านถูกต้อง , กรัมต่อลิตร

R_t = ค่าที่อ่านได้ของสารแขวนลอยดินที่อุณหภูมิ t°_{40} หรือ t°_2 เท่ากับ a หรือ b (เมื่อ 40 วินาที หรือ 2 ชั่วโมง) , กรัมต่อลิตร

C_s = ค่าที่อ่านได้ของสารแขวนลอยคัลคอนที่อุณหภูมิ L° หรือเมื่อไฮโดรมิเตอร์อ่านถูกต้อง , กรัมต่อลิตร

C_t = ค่าที่อ่านได้ของสารแขวนลอยคัลคอนที่อุณหภูมิ t_c° ซึ่งเท่ากับ c , กรัมต่อลิตร

t = อุณหภูมิของสารแขวนลอยดินเป็น 40 วินาที หรือ 2 ชั่วโมงเท่ากับ t°_{40} หรือ t°_2 , องศาเซลเซียส

L = อุณหภูมิที่ไฮโดรมิเตอร์ที่อ่านได้ถูกต้องระบุไว้บนก้านไฮโดรมิเตอร์ , องศาเซลเซียส

t_c = อุณหภูมิของสารละลายคัลคอน

แทนค่าลงในสูตรจะได้ค่าที่ถูกต้องของสารแขวนลอยดินเมื่อ 40 วินาที (ประกอบด้วยกลุ่มขนาดดินเหนียวและซิลท์และคัลคอน)

$$\begin{aligned} R_s, 40 \text{ วินาที} &= R_t + 0.36 (t-L) \\ &= a + 0.36(t^\circ_{40} - L) \text{ มีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

ค่าที่ถูกต้องของสารแขวนลอยดินเมื่อ 2 ชั่วโมง (ประกอบด้วยกลุ่มขนาดดินเหนียว และคัลคอน)

$$\begin{aligned} R_s, 2 \text{ ชั่วโมง} &= R_t + 0.36 (t-L) \\ &= b + 0.36(t^\circ_2 - L) \text{ มีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

ค่าที่ถูกต้องของสารละลายคัลคอนซึ่งมีแต่คัลคอนเท่านั้น

$$\begin{aligned} C_s &= C_t + 0.50 (t_c-L) \\ &= c + 0.50 (t_c-L) \text{ มีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อเอาค่าของคัลคองหักออกไปจะได้ปริมาณกลุ่มขนาดซีลล์และดินเหนียว (ค่าที่ 40 วินาที)

$$= \text{Rs, 40 วินาที} - C_s \quad \text{กรัมต่อลิตร}$$

$$= A \quad \text{กรัมต่อลิตร}$$

ปริมาณกลุ่มขนาดดินเหนียว = Rs, 2 ชั่วโมง - Cs กรัมต่อลิตร

$$= B \quad \text{กรัมต่อลิตร}$$

ปริมาณขนาดทราย = X-A กรัมต่อลิตร

ปริมาณกลุ่มของซีลล์ = A-B กรัมต่อลิตร

คำนวณร้อยละของอนุภาคขนาดต่างๆของดินลงในตัวอย่าง x กรัม ซึ่งทำให้เป็นสารแขวนลอย 1 ลิตร และแยกออกเป็น กลุ่มขนาดทราย ซีลล์ ดินเหนียวซึ่งคำนวณเป็นร้อยละได้ดังนี้

$$\text{กลุ่มขนาดทราย, \%} = \frac{100 (X - A)}{X}$$

$$\text{กลุ่มขนาดซีลล์, \%} = \frac{100 (A - B)}{X}$$

$$\text{กลุ่มขนาดดินเหนียว, \%} = \frac{100 B}{X}$$

5. การหาความเข้มข้นของโลหะหนักโดย Microwave digester

เครื่องมือ

เครื่องไมโครเวฟไดเจสชัน รุ่น MLS 1200 MEGA

สารเคมี

1. HNO₃ 65%
2. HF 48%

วิธีดำเนินการ

1. ชั่งดินตัวอย่าง 0.25 กรัม ใส่ใน TFM vessel ขนาด 150 ml
2. ใส่ TFM vessel ลงใน HTC Safety Shield
3. ใส่ HNO₃ 65% 3 มิลลิลิตร และ HF 48% 2.5 มิลลิลิตร ถ้าส่วนของตัวอย่างที่เกาะอยู่ที่ผิวของ vessel ให้ทำการหยดกรดลงไปบริเวณนั้น
4. ปิด vessel และใส่เข้าไปใน rotor segment ทำการหมุนลือคให้แน่น
5. ใส่ segment ส่วนที่ใช้ประกอบเครื่อง เข้าไปในเครื่องไมโครเวฟ
6. ทำการเปิดเครื่องและตั้งเครื่องตามโปรแกรมที่กำหนดไว้จนเสร็จสมบูรณ์
7. นำ segment มาหล่อเย็นด้วยน้ำ จนกระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิเกือบเท่าอุณหภูมิห้อง
8. เปิด vessel ทำการกรองแล้วถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมไมโครเวฟ

Step	Time	Power	Press	Temp1	Temp2
1.	00:06:00	250	0	0	0
2.	00:06:00	400	0	0	0
3.	00:06:00	650	0	0	0
4.	00:06:00	250	0	0	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเตรียมสารละลายสต็อกแคดเมียม 1000 พีพีเอ็ม

สารละลายสต็อกแคดเมียม

คำนวณหาปริมาณ $\{3(\text{Cd}(\text{SO}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O})\}$ ดังนี้

น้ำหนักโมเลกุลของ $\{3(\text{Cd}(\text{SO}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O})\}$ เท่ากับ 1057.23

Cd 112.41 กรัม อยู่ใน $\{3(\text{Cd}(\text{SO}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O})\}$ 1057.23 กรัม

Cd 1 กรัม อยู่ใน $\{3(\text{Cd}(\text{SO}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O})\}$ $\frac{1057.23 \times 1}{112.41} = 9.405$ กรัม

จะได้ปริมาณ $\{3(\text{Cd}(\text{SO}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O})\}$ 9.405 กรัม ละลายลงในน้ำ 1000 มิลลิลิตร

2. การเตรียมดินที่มีแคดเมียมในรูปโลหะซัลเฟตปนเปื้อน 200 พีพีเอ็มต่อดิน 1 กิโลกรัม

1. บีบอัดสารละลายสต็อกแคดเมียมในรูปโลหะซัลเฟต 1000 พีพีเอ็ม มา 200 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายแคดเมียมเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม
2. นำสารละลายแคดเมียมในรูปโลหะซัลเฟตเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม มา 1 ลิตร แล้วเทลงในภาชนะที่มีดินอยู่ 1 กิโลกรัม
3. คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วตากแดดนาน 14 วัน
4. จะได้ดินที่มีแคดเมียมปนเปื้อน 200 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่าพีเอชของดินตัวอย่าง (อัตราส่วนดิน : น้ำ เท่ากับ 1 : 5)

ตัวอย่างดิน	ค่าพีเอช		
	1	2	3
ตัวอย่างที่ 1	6.55	6.55	6.54
ตัวอย่างที่ 2	7.79	7.78	7.79
ตัวอย่างที่ 3	7.51	7.50	7.50
ตัวอย่างที่ 4	7.36	7.34	7.32

ตารางที่ ก.2 ค่า CEC ของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	CEC (meq/100g)		
	1	2	3
ตัวอย่างที่ 1	14.18	14.77	14.86
ตัวอย่างที่ 2	11.62	12.01	11.22
ตัวอย่างที่ 3	13.39	13.19	13.58
ตัวอย่างที่ 4	8.47	9.16	9.55

ตารางที่ ก.3 ปริมาณอินทรีย์สารของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	เปอร์เซ็นต์อินทรีย์สาร		
	1	2	3
ตัวอย่างที่ 1	9.40	10.30	11.00
ตัวอย่างที่ 2	13.20	14.00	15.00
ตัวอย่างที่ 3	10.10	10.00	9.50
ตัวอย่างที่ 4	14.10	15.50	14.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ปริมาณความชื้นของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	เปอร์เซ็นต์ความชื้น		
	1	2	3
ตัวอย่างที่ 1	0.07	0.34	0.75
ตัวอย่างที่ 2	1.01	1.31	1.06
ตัวอย่างที่ 3	0.54	0.54	0.52
ตัวอย่างที่ 4	1.20	1.19	1.19

ตารางที่ ค.5 การกระจายตัวของอนุภาคของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	% Sand	% Silt	% Clay	ลักษณะเนื้อดิน
ตัวอย่างที่ 1	64.16	22.06	17.70	Sandy loam
ตัวอย่างที่ 2	64.23	22.08	18.81	Sandy loam
ตัวอย่างที่ 3	64.16	22.06	17.70	Sandy loam
ตัวอย่างที่ 4	64.23	22.08	18.81	Sandy loam

ตารางที่ ค.6 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแคดเมียมของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)		
	1	2	3
ตัวอย่างที่ 1	6.10	6.10	6.10
ตัวอย่างที่ 2	68.70	72.50	70.40
ตัวอย่างที่ 3	194.20	194.50	171.50
ตัวอย่างที่ 4	258.60	260.30	262.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ปริมาณโลหะหนักแคดเมียมที่ถูกชะโดยสารละลายโซเดียมโอดีซิลซัลเฟตร่วมกับสารละลายโซเดียมไอโอดีที่ระยะเวลา 60 วัน

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)		
	1	2	3
ตัวอย่างที่ 1	0.87	0.88	1.01
ตัวอย่างที่ 2	25.19	26.10	25.19
ตัวอย่างที่ 3	30.11	29.58	30.86
ตัวอย่างที่ 4	22.14	22.05	25.16

ตารางที่ ค.8 ปริมาณโลหะหนักแคดเมียมที่ได้จากการย่อยดินหลังจากถูกชะโดยสารละลายโซเดียมโอดีซิลซัลเฟตร่วมกับสารละลายโซเดียมไอโอดีที่ระยะเวลา 60 วัน

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)		
	1	2	3
ตัวอย่างที่ 1	4.80	4.78	3.67
ตัวอย่างที่ 2	25.80	26.00	24.20
ตัวอย่างที่ 3	32.40	36.50	47.40
ตัวอย่างที่ 4	85.70	83.60	108.40

ตารางที่ ค.9 ปริมาณโลหะหนักแคดเมียมที่ถูกชะโดยสารละลายไทรทอนเอกซ์-100 ร่วมกับสารละลายโซเดียมไอโอดีที่ระยะเวลา 60 วัน

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)		
	1	2	3
ตัวอย่างที่ 1	1.23	1.22	1.31
ตัวอย่างที่ 2	26.95	27.23	26.99
ตัวอย่างที่ 3	30.75	30.59	30.95
ตัวอย่างที่ 4	29.88	30.27	29.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 ปริมาณโลหะหนักแคดเมียมที่ได้จากการย่อยดินหลังจากถูกชะโดยสารละลายไทรทอนเอกซ์-100 ร่วมกับสารละลายโซเดียมไอโอดด์ที่ระยะเวลา 60 วัน

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)		
	1	2	3
ตัวอย่างที่ 1	3.80	3.40	3.00
ตัวอย่างที่ 2	30.50	29.97	30.10
ตัวอย่างที่ 3	32.80	38.60	40.30
ตัวอย่างที่ 4	63.20	60.50	71.00

ตารางที่ ค.11 ปริมาณโลหะหนักแคดเมียมที่ถูกชะโดยสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตร่วมกับสารละลายโซเดียมไอโอดด์ที่ระยะเวลา 100 วัน

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)		
	1	2	3
ตัวอย่างที่ 1	0.76	0.83	0.39
ตัวอย่างที่ 2	23.49	23.86	24.78
ตัวอย่างที่ 3	29.87	28.74	29.59
ตัวอย่างที่ 4	16.03	16.83	14.63

ตารางที่ ค.12 ปริมาณโลหะหนักแคดเมียมที่ได้จากการย่อยดินหลังจากถูกชะโดยสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตร่วมกับสารละลายโซเดียมไอโอดด์ที่ระยะเวลา 100 วัน

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)		
	1	2	3
ตัวอย่างที่ 1	5.00	5.20	4.90
ตัวอย่างที่ 2	41.00	39.80	42.60
ตัวอย่างที่ 3	120.40	121.50	122.00
ตัวอย่างที่ 4	170.70	169.90	172.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 ปริมาณโลหะหนักแคดเมียมที่ถูกชะโดยสารละลายไพรทอนเอกซ์-100 ร่วมกับ สารละลายโซเดียมไฮไดรด์ที่ระยะเวลา 100 วัน

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)		
	1	2	3
ตัวอย่างที่ 1	1.06	1.14	1.26
ตัวอย่างที่ 2	24.94	28.32	28.57
ตัวอย่างที่ 3	29.79	29.99	30.26
ตัวอย่างที่ 4	26.03	21.53	27.43

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์แคดเมียมที่เหลือในดิน} = \frac{100 \times \text{ปริมาณแคดเมียมในดินเริ่มต้น}}{\text{ปริมาณแคดเมียมเริ่มต้น}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์แคดเมียมที่ถูกชะออกมา} = \frac{100 \times \text{ปริมาณแคดเมียมในสารละลาย}}{\text{ปริมาณแคดเมียมเริ่มต้น}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์แคดเมียมที่สูญหาย} = 100 - (\text{เปอร์เซ็นต์แคดเมียมในสารละลาย} + \text{เปอร์เซ็นต์แคดเมียมในดินหลังถูกชะ})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเตรียมสารละลาย SDS ที่ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์

สูตรเคมี $C_{12}H_{25}OSO_3Na$

น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 288.4

$$\text{mol} = \frac{\text{g}}{\text{MW}}$$

$$0.025 = \frac{\text{g}}{288.4}$$

$$\text{g} = 7.21 \text{ g. ในน้ำ 1 ลิตร}$$

2. การเตรียมสารละลายไทรทอนเอกซ์-100 ที่ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์

สูตรเคมี $C_{34}H_{62}O_{11}$

น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 647

$$\text{mol} = \frac{\text{g}}{\text{MW}}$$

$$0.025 = \frac{\text{g}}{624}$$

$$\text{g} = 16.175 \text{ g. ในน้ำ 1 ลิตร}$$

3. การเตรียมสารละลายลิแกนด์โซเดียมไอโอดेट์ ที่ความเข้มข้น 0.336 โมลาร์

สูตรเคมี NaI

น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 149.89

$$\text{mol} = \frac{\text{g}}{\text{MW}}$$

$$0.336 = \frac{\text{g}}{149.89}$$

$$\text{g} = 50.3630 \text{ g. ในน้ำ 1 ลิตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
แคดเมียมและสารประกอบ แคดเมียม (Cadmium and compounds)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ต้องไม่เกิน 37

หมายเหตุ : 1.ระบุเฉพาะโลหะหนักที่ทำการศึกษเท่านั้น

ที่มา :

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความใน
พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐาน
คุณภาพดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้