

การล้างโครเมียมออกจากดินปนเปื้อน



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ในวาระนี้ได้แจ้งเจ้าหน้าที่ห้องสมุดให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....55551
วัน,เดือน,ปี...19 พ.ค. 2548

6.....
1.....

Chromium-Contaminated Soils Washing



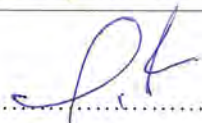
A Special Project Submitted in Partial fulfillment of the Requirement for the Degree
of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การล้างโครเมียมออกจากดินปนเปื้อน
 นักศึกษา นางสาวพรสรวง มากมณี
 นางสาวพิมพ์พิมพ์ คงจินดา
 นายภาสกร ศรีจิว
 ภาควิชา เคมี
 สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการครูวิจีสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	
กรรมการ ดร.อุสรณ์ ภัททีสูตย	
กรรมการ อาจารย์อร่องแก้ว ทิพย์สกลดี	
กรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
กรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	


 (ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
 หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การล้างโครเมียมออกจากดินปนเปื้อน
นักศึกษา	นางสาวพรสรวง มากมณี นางสาวพิมพ์พิมพ์ กงจินดา นายภาสกร ศรีจิว
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา	2546
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาการกำจัดโครเมียมออกจากดินปนเปื้อน โดยใช้น้ำกลั่น สารละลายอีดีทีเอ และสารละลายโซเดียมโอดีซิลซัลเฟต ดินที่นำมาทำการศึกษาทดลองเป็นดินที่พรศุดา และสุวรรณ (2545) ได้ทำการวิจัยในพื้นที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยดินขลุ่ แบ่งดินเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 เป็นดินที่มีการเติมสารละลายโครเมียมเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ชุดที่ 2 เป็นดินที่ไม่มีการเติมสารละลายโครเมียม แต่ได้ทำการทดลองโดยการเติมสารละลายโครเมียมเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ลงในดินชุดที่ 2 แล้วทำการทดลองล้างดินเปรียบเทียบกับดินชุดที่ 1 ผลการทดลองพบว่า การล้างดินด้วยน้ำกลั่นสามารถกำจัดโครเมียมในชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ได้เท่ากับ 85 และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อปรับพีเอชของน้ำกลั่นพบว่า พีเอช 2 สามารถกำจัดโครเมียมได้เพิ่มขึ้นโดยในดินชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ได้เท่ากับ 89 และ 53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การล้างดินด้วยสารละลายอีดีทีเอที่มีความเข้มข้นเป็น 2 เท่าของโครเมียมในดินที่มีพีเอช 2 สามารถกำจัดโครเมียมได้ดีที่สุดในดินชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ได้เท่ากับ 68 และ 21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสารละลายโซเดียมโอดีซิลซัลเฟตที่มีความเข้มข้นเป็น 3 เท่าของโครเมียมในดิน สามารถกำจัดโครเมียมในดินชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ได้ 96 และ 97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Chromium-Contaminated Soils Washing

Name Miss Phornsuang Markmanee

Miss Pimpimol Kongjinda

Mr. Passakorn Srijiw

Department Chemistry

Program Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2003

Special Project Advisor Asst. Pitsamai Chairatu-tai

Dr. Wiboon Praditweangkum

ABSTRACT

This research is conducted to study chromium-contaminated soil by washing with water, EDTA solution and Sodium dodecylsulfate (SDS) solution. In this experiment, samples were selected from chromium-contaminated soils. These soil has been by Broad Leaf Plants by Pornsuda and Suvapat (2000). The first group has been spiked with 100 ppm of the chromium solution phyto-remediated volume and the second group was not spiked. In the research, the second group of the soil sample was added with 100 ppm of chromium solution. Soil washing of these two group were compared. Result from these laboratory studies demonstrated that soils washing with water can be removed chromium from group 1 and 2 at rate of 87 and 29 %, respectively. When adjusted pH of water to pH 2, it can be removed chromium from soil group 1 and 2 increase to 91 and 57 %, respectively. Soil washing with EDTA solution at concentration of 2 times by chromium in soils was found that using pH 2, chromium be removed from group 1 and 2 at rate of 73 and 28 % respectively. Sodium dodecylsulfate solution at concentration of 3 times by chromium in soil, chromium can be removed from soils group 1 and 2 at rate of 96 and 98 %, respectively

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษสามารถลุล่วงไปด้วยดีในครั้งนี้ สืบเนื่องมาจากความร่วมมือและความกรุณาของ
 ทุกๆท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คือ ดร.วิบูลย์
 ประดิษฐ์เวียงคำ และคณะกรรมการ ที่กรุณาติดตาม ตรวจสอบดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี จน
 โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี รวมทั้งแม่บ้านที่ได้
 คอยให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในทุกๆด้าน

ขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติ พี่น้อง เพื่อนๆ รวมถึงรุ่นพี่ รุ่นน้องทุกๆคนที่ให้กำลังใจและ
 ช่วยเหลือในทุกๆด้านจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จในที่สุด

นางสาวพรสรวง มากมณี

นางสาวพิมพ์ทิมล คงจินดา

นายภาสกร ศรีจิว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 โครเมียม	3
2.2 ความเป็นพิษของโครเมียม	6
2.3 เทคนิคต่างๆในการฟื้นฟูดิน	6
2.4 การบำบัดดินที่ถูกปนเปื้อนโดยการล้างดิน	13
2.5 การใช้น้ำล้างดิน	14
2.6 การล้างดินด้วยสารต่างๆ	15
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ดินที่ใช้ในการทดลอง	18
3.2 วิธีทำการทดลอง	19
3.3 การสุ่มตัวอย่างดิน	23
3.4 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การศึกษาหาปริมาณโครเมียมในดิน	25
4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมในดินที่มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไป	26
4.3 การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวิเคราะห์	26
4.4 การหาปริมาณน้ำกลั่นที่เหมาะสมในการล้างดิน	27
4.5 การหาปริมาณน้ำกลั่นที่เหมาะสมในการล้างดินด้วยน้ำกลั่น	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 การหาพีเอชที่เหมาะสมของน้ำในการล้างดิน	30
4.7 การล้างโครเมียมออกจากดินด้วยสารละลายอิตีทีเอ	31
4.8 การหาพีเอชของสารละลายอิตีทีเอที่เหมาะสม	32
4.9 การล้างโครเมียมออกจากดินด้วยสารละลาย- โซเดียม ไดคิลซัลเฟต (SDS)	34
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	36
5.2 ข้อเสนอแนะ	37
บรรณานุกรม	38
ภาคผนวก ก.	40
ภาคผนวก ข.	42
ภาคผนวก ค.	45
ภาคผนวก ง.	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1	18
ตารางที่ 4.1	25
ตารางที่ 4.2	26
ตารางที่ 4.3	27
ตารางที่ 4.4	28
ตารางที่ 4.5	29
ตารางที่ 4.6	30
ตารางที่ 4.7	31
ตารางที่ 4.8	33
ตารางที่ 4.9	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 การละลายของ $Cr(OH)_3$ กับ ค่าพีเอช	5
รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการทำวิตรีฟิเคชัน	7
รูปที่ 2.3 แสดงรูปของแผ่นกั้นน้ำ	9
รูปที่ 2.4 กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส	10
รูปที่ 2.5 แสดงกลไกการดูดซับโลหะของพืช	11
รูปที่ 2.6 กระบวนการ soil flushing ที่ใช้ดินน้ำ หรือสารละลายเคมีเข้าไป	12
รูปที่ 4.1 แสดงผลของปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ในการล้างดิน	28
รูปที่ 4.2 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมในการล้างดิน	29
รูปที่ 4.3 แสดงผลของพีเอชของน้ำกลั่นที่ใช้ในการล้างดิน	30
รูปที่ 4.4 แสดงผลของปริมาณอดีทีที่ที่เหมาะสมในการล้างดิน	32
รูปที่ 4.5 แสดงผลการทำงานของพีเอชที่เหมาะสมของสารละลายอดีทีเอในการล้างดิน	33
รูปที่ 4.6 แสดงผลของการหาปริมาณ โครเมียม โคบอลต์ และนิกเกิล ที่เหมาะสมในการล้างดิน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันมีการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมาย โรงงานฟอกหนัง เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการขยายตัวอย่างมาก ก่อให้เกิดปัญหามลพิษที่กระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสารมลพิษที่สำคัญ คือ โครเมียม ซึ่งมีการปนเปื้อนมากับน้ำทิ้ง นอกจากนี้ยังพบว่าดินที่บริเวณอุตสาหกรรมฟอกหนังตั้งอยู่ มักมีปริมาณโครเมียมค่อนข้างสูง จากการวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการฟื้นฟูสภาพดิน โดยการใช้พืชดูดซับโครเมียมออกจากดิน ผลการทดลองพบว่าพืชสามารถดูดซับโครเมียมได้บางส่วน และมีบางส่วนที่เหลืออยู่ในดิน ดินที่ผ่านการทดลองฟื้นฟูสภาพดินนี้จะมีโครเมียมปนเปื้อนอยู่ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดโครเมียมออกจากดินปนเปื้อนนี้ โดยใช้วิธีการล้างดินด้วยน้ำกลั่น สารประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์ และสารลดแรงตึงผิว

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมออกจากดิน โดยการใช้การล้างดินด้วยน้ำกลั่น สารประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์ และสารลดแรงตึงผิว
2. ศึกษาอิทธิพลของสารละลายต่างๆ ที่มีผลต่อการล้างดิน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินที่พรุควและคณะ(2545) ทำการทดลองฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนโครเมียมปลูกต้นขลุไไว้ 60 วัน แล้วเก็บใส่ในถุงพลาสติกไว้ประมาณ 16 เดือน
2. โลหะหนักที่ศึกษาคือ โครเมียม (Cr^{+6})
3. ศึกษาการล้างดิน โดยแปรค่า ปริมาณน้ำกลั่น , เวลา , พีเอช ที่ใช้ในการล้างดิน
4. ศึกษาการล้างดินด้วยน้ำกลั่น สารประเภทคีเลตติ้ง เอเจนต์ และสารลดแรงตึงผิว

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ในการทดลองนี้ เป็นการกำจัดโครเมียมออกจากดินปนเปื้อนที่ผ่านการปลูกพืชใบเลี้ยงคู่ โดยแบ่งการทดลองออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ขั้นที่ 1 สืบค้น ศึกษาข้อมูล และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาวิธีการต่างๆที่จะกำจัดโครเมียมออกจากดิน เพื่อนำมาใช้ในโครงการ รวมทั้งงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดโครเมียมมากที่สุด

ขั้นที่ 2 การทดลองและหาประสิทธิภาพของวิธีการล้างดิน

ขั้นที่ 3 ประมวลผลการทดลอง สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถกำจัดโครเมียมออกจากดินปนเปื้อนให้เหลือน้อยที่สุด
ธรรมชาติ

เพื่อนำดินกลับคืนสู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โครเมียม

โครเมียม (Cr) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 ในธรรมชาติโครเมียมปรากฏอยู่ในรูปของสารประกอบโครเมียมออกไซด์กับเหล็กในสินแร่โครไมต์ ที่มีอยู่ประมาณ 0.037% ของเปลือกโลก โครเมียมมักอยู่ในสภาพไตรวาเลนต์ และมีออลูมิเนียมกับแมกนีเซียมออกไซด์ รวมทั้งอาจมีไททาเนียมและวานาเดียมออกไซด์ปะปนอยู่ในปริมาณต่าง ๆ กันด้วย สารประกอบโครเมียมที่นำมาใช้กันมากในทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้ในรงควัตถุ (pigment) ร้อยละ 33 ของการใช้โครเมียมแบบพื้นผิวโลหะ (metal surface plating) ร้อยละ 25 ใช้ทำสีหนัง (leather tanning) และการผลิตสิ่งทอ (textile) ร้อยละ 10 นอกจากนี้มีการใช้ในกระบวนการถ่ายรูปและการผลิตสารเร่งปฏิกิริยาด้วย (ชัยวัฒน์, 2525)

- โครเมียม (-2 ถึง 0) พบมากในการรับอนิลและสารประกอบโลหะอินทรีย์
- Hexacarbonylchromium ($\text{Cr}(\text{CO})_6$) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวคงตัวในอากาศและไม่ละลายน้ำ
- โครเมียม (+2) เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงและถูกออกซิไดซ์เป็น โครเมียม (+3) โดยอากาศ
- โครเมียม (+3) เป็นวาเลนต์ที่เสถียรเป็นรูปที่พบมากในธรรมชาติ เมื่อละลายน้ำจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นลิแกนด์ในสถานะกรด $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ และในสภาวะด่าง $[\text{Cr}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$
- โครเมียม (+6) พบมากในธรรมชาติพร้อมกับ (+3) แต่พบในรูปของสารประกอบที่มีออกซิเจน ตัวอย่างเช่น
 - โครเมียม (+6) ออกไซด์ (กรดโครมิก : CrO_3)
 - โครเมียมคลอไรด์ (CrO_2Cl_2)
 - คลอโรโครเมต (CrO_3Cl)
 - โครเมต (CrO_4^{2-})
 - ไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)

เมื่อไดโครเมตละลายน้ำ จะได้โครเมตดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครเมียม (+6) เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก ภายใต้สภาวะกรด (พีเอช 0)



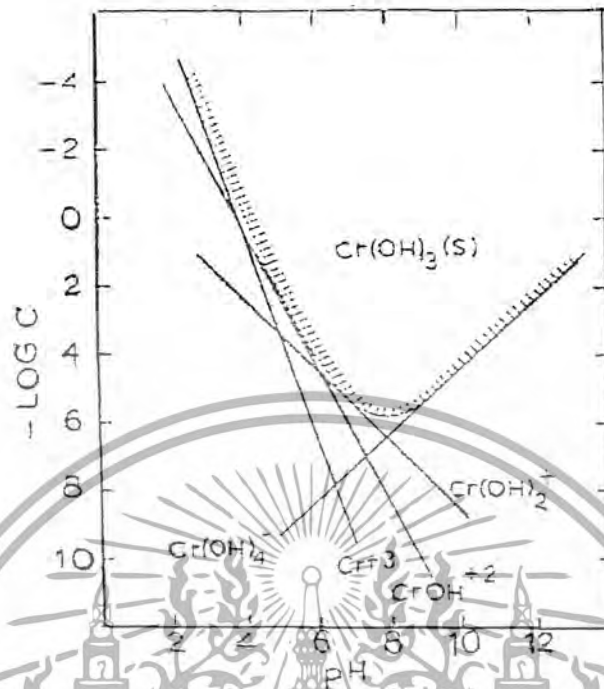
ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้มีการนำโครเมียมมาใช้อย่างกว้างขวางเป็นเวลากว่า 10 ปี เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก รังควัตถุ สีทา สีย้อม สารย้อมอายุไม้ สารป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ การชุบโครเมียมและการฟอกหนัง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเติมสารประกอบโครเมียมลงในน้ำหล่อลื่นเย็นเพื่อป้องกันการกัดกร่อน อุตสาหกรรมการชุบเพทโลหะและการประดิษฐ์ส่วนประกอบรถยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีการนำโลหะมาชุบโครเมียมมากที่สุด และมีความเป็นไปได้ว่าในระยะยาวจะมีการสะสมและกระจายตัวของโครเมียมในระบบนิเวศเพิ่มมากขึ้น

ธาตุโครเมียม (Cr) จะไม่พบในสถานะอิสระในธรรมชาติ แร่โลหะที่พบบ่อย คือ โครไมต์ (FeOCr_2O_3) ซึ่งใช้ในการผลิตโซเดียมไดโครเมต เป็นสารเคมีขั้นปฐมภูมิของสารประกอบโครเมียมตัวอื่น ๆ ในอุตสาหกรรม เช่น การฟอกหนัง การผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมสิ่งทอ สารกัดกร่อนโลหะ เป็นต้น โรงงานต่างๆจะปล่อยน้ำทิ้งที่มีโครเมียมเจือปนอยู่ในรูปโครเมียม (+6) ซึ่งในสภาวะธรรมชาติโครเมียม (+3) จะเสถียรกว่าโครเมียม (+6) ในสภาวะเป็นกรด และโครเมียม (+6) จะเสถียรขึ้นที่พีเอชมากกว่า 12

ความสามารถในการออกซิไดซ์ของ Cr^{6+} ไปเป็น Cr^{3+} ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชและอัตราส่วนที่มีแต่ละชนิดของ Cr^{3+} ตามธรรมชาติแล้วจะตกตะกอนภายใต้สภาวะธรรมชาติ หรือภายใต้สภาวะเบสเล็กน้อย คือ ประมาณ 0.1 mg/L ที่พีเอช 8.5 โดยประมาณ การละลายของโครเมียมไฮดรอกไซด์นี้จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของพีเอช ดังรูปที่ 2.1 การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายจะเพิ่มค่าพีเอชเนื่องจากสูตรของ $\text{Cr}(\text{OH})_3$ และชนิดของ Hydrolysis อื่น

การเคลื่อนย้ายระหว่าง Cr^{3+} และ Cr^{6+} เป็นระบบ Oxidation และ Reduction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การละลายของ $\text{Cr}(\text{OH})_3$ กับ ค่าพีเอช

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ Cr^{6+} ปฏิกิริยารีดอกซ์สามารถทำให้โครเมียม Cr^{6+} เปลี่ยนอยู่ในรูป Cr^{3+} ในสารละลายกรดได้ (พีเอช 2-5)



ในการมีอยู่ของ Fe^{2+} จะพบ Cr^{6+} อุกิริควัที่พีเอช 6.5-8.5



จึงชี้ให้เห็นว่า การลดลงของ Cr^{6+} อาจเกิดขึ้น ถึงแม้ว่าจะเกิดปฏิกิริยากับซัลไฟด์

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (ซึ่งเกิดจากการสลายของสารอินทรีย์ โดยซัลเฟตรีดิวซิงค์แบคทีเรียหรือโดยการปล่อยของเสียอุตสาหกรรมที่แน่นอน) การผลิต Cr^{3+} โดยปฏิกิริยานี้น่าจะเป็นไปได้ที่จะถูกดูดซึมโดยตะกอนและถูกกำจัดออกจากสารละลาย

ปฏิกิริยา Oxidation ของ Cr^{3+} ที่พีเอช 6.5-8.5



อย่างไรก็ตาม โครเมียมอาจเกี่ยวข้องในปฏิกิริยาอื่นๆ เช่น การดูดซับอนุภาค เป็นต้น (Paul

and Cart, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความเป็นพิษของโครเมียม

โครเมียมที่มีอยู่สถานะทั่วไปในธรรมชาติ คือ โครเมียม (+3) และ โครเมียม (+6) กรณีของโครเมียม (+6) จะมีความเป็นพิษมากกว่าโครเมียม (+3) ประมาณ 100 เท่า โลหะโครเมียมบริสุทธิ์จะไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เกลือที่ละลายน้ำของโครเมียม (+3) ทั้งออกไซด์และฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำจะไม่เป็นพิษ ความเป็นพิษของโครเมียมสรุปได้ดังนี้

1. แผลจากพิษโครเมียมเนื่องจากการสะสมของฝุ่นละอองโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มเป็นรอยดลอกที่ผิวหนังและจะพบมากที่สุดที่โคนเล็บมือ ตามข้อที่นิ้วมือ หรือหลังเท้า มีลักษณะเป็นแผลวงกลมขอบค่อนข้างเรียบ บวมเล็กน้อยไปปกติมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรหรือเล็กกว่า ซึ่งจะมองคล้ายถูกเจาะด้วยตะปูถึงแม้ว่าแผลนี้จะไม่เจ็บปวดแต่จะคันมากเวลากลางคืน ต่อไปอาจเกิดการติดเชื้อขึ้นและอาจ ทำให้ลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียง ซึ่งอาจทำให้ต้องตัดนิ้วทั้ง ฝุ่นของเกลือโครเมียมหรือควันของกรดโครมิก อาจตกลงบนหลังคาหรือที่ปลายจมูก ซึ่งอาจทำให้เกิดแผลขึ้นได้ใกล้เคียงกัน
2. ผิวหนังอักเสบ บริเวณที่เกิดการอักเสบ ได้แก่ มือ แขน ใบหน้า และหน้าอก อาจเกิดเมื่อสัมผัสโครเมียมมาแล้ว 6 เดือน ในรายที่รุนแรงใบหน้าจะมีสีแดงเข้มและบวม ส่วนที่อักเสบจะคันมากและอาจเจ็บแสบด้วย
3. ผื่นงันในโพรงจมูกอาจถูกเจาะทะลุ คนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับโครเมียม จะได้รับควันกรดโครมิกหรือฝุ่นละอองของโครเมียมเป็นประจำจะทำให้ผื่นงันในโพรงจมูกถูกทำลายจนเป็นรูทะลุ ซึ่งการทะลุนี้จะไม่รู้สึกเจ็บปวดแต่อย่างใด จะรู้ตัวก็ต่อเมื่อมีเสียงอู้อี้หรือคังจุมกบีเบนลง
4. มะเร็งปอดอาจเกิดกับผู้ที่สูดเอาโครเมียมเข้าสู่ร่างกายอยู่ประจำและเป็นเวลานาน ซึ่งเป็นอันตรายมาก

2.3 เทคนิคต่างๆในการฟื้นฟูดิน

2.3.1 การแยกสารเคมีออกและการบรรจุ (Isolation and containment)

- การทำให้เป็นก้อน(Solidification) และ การปรับเสถียร(Stabilization) ซึ่งเป็นวิธีธรรมดาที่ใช้กันมากในสหรัฐอเมริกา (Conner, 1990) โดยการทำให้เป็นก้อน เป็นวิธีทางกายภาพ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงธรรมชาติของดินให้มีความแข็งตัวเพื่อลดค่าการส่งผ่าน ส่วนการปรับเสถียรเป็นวิธีทางเคมีโดยอาจเติมสารเคมี เข้าไปเพื่อช่วยลดความเป็นพิษ เปลี่ยนของเหลวให้เป็นของแข็ง ลดพื้นที่ผิว จำกัดค่าการละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของวิธีนี้ คือ ทำได้ในสถานที่จริง เสียค่าใช้จ่ายในเรื่องของค่าแรง และพลังงาน น้อย

ข้อเสีย ในบริเวณที่มีหินแข็ง , ดินก้อนใหญ่ , ดินเหนียว และมีน้ำมัน อาจจะได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร

เทคนิคนี้เหมาะสำหรับดินที่มีการปนเปื้อนในระดับที่ไม่ลึกมาก

- เทคนิควิตรีฟิเคชัน (Vitrification) เป็นเทคนิคหนึ่งของการทำให้เป็นก้อนและการปรับเสถียร ซึ่งเทคนิควิตรีฟิเคชัน ต้องอาศัยพลังงานความร้อนเข้ามาช่วย โดยใส่แท่งอิเล็กโทรด ลงไปในดิน แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป ทำให้ดินแข็งตัวเพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในดิน

ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการทำวิตรีฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การแยกด้วยเครื่องกล (Mechanical separation)

เป็นเทคนิคการบำบัดดินที่อาศัยเครื่องมือเข้ามาช่วย เช่น

- ไฮโดรไซโคลอน (Hydrocyclone) สามารถแยกอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 10-20 ไมโครเมตร โดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจากอนุภาคที่เล็กกว่า
- การแยกแบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized bed separation) มีลักษณะเป็นคอลัมน์ในแนวตั้ง โดยการตกตัวตามแรงโน้มถ่วงและการลอยตัวของอนุภาค จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวที่แตกต่างกันของอนุภาค
- การแยกด้วยแม่เหล็ก (Magnetic separation) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กของโลหะต่างๆ ที่จะสามารถแยกออกจากแร่เหล็ก

2.3.3 การแยกโลหะในเตาเผาแบบไพโรไลต์ (Pyrometallurgical separation)

กระบวนการแยกโลหะในเตาเผาแบบไพโรไลต์ เกิดในเตาเผาที่มีอุณหภูมิสูงเพื่อให้โลหะที่ปนเปื้อนอยู่ในดินระเหยออกมา อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ $200-700^{\circ}\text{C}$ วิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้กับปรอทได้ เนื่องจากที่ปรอทสามารถเปลี่ยนรูปได้ง่าย ส่วนโลหะอื่นๆ ที่ประกอบด้วย ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม และโครเมียม อาจจะต้องบำบัดด้วยวิธีดิวซิงก์หรือฟลักซ์ซิงก์เอเจนต์ก่อน เพื่อช่วยในการหลอมเหลว การบำบัดดินโดยวิธีนี้โดยมากจะไม่ทำในพื้นที่ เพราะไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ และไม่สามารถประยุกต์ใช้กับดินที่มีการปนเปื้อนสูง (5-20%) ได้ ในกรณีที่ดินมีความเข้มข้นมากอาจจะต้องมีการล้างดินก่อนแล้วจึงจะใช้กระบวนการ Pyrometallurgical Process (Smith et al., 1995)

2.3.4 การบำบัดด้วยวิธีเคมี (Chemical treatment)

การบำบัดทางเคมีโดยกลไกการรีดักชันและออกซิเดชัน อาจใช้ลดความเป็นพิษหรือลดการซึมผ่านของโลหะปนเปื้อน (Evanko and Dzombak, 1997) วิธีนี้ใช้สำหรับบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น มีการเติมโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไฮโปคลอไรต์ หรือ ก๊าซคลอรีน ปฏิกิริยารีดักชัน เช่น การเติมโลหะอัลคาไลน์ ได้แก่ โซเดียม ซัลเฟอร์ ไดออกไซด์ และ เพอร์ซัลเฟต ส่วนวิธีการทำให้เป็นก้อน เป็นการบำบัดทางเคมีชั้นต้นของดิน เช่น ดินที่ปนเปื้อนโครเมียม (Cr^{6+}) ที่บำบัดโดยวิธีการทำให้เป็นก้อนและวิธีปรับเสถียร จะทำให้การออกซิเดชันลดลง และลดการเสี่ยงของการเปลี่ยนโลหะอื่นให้เป็นพิษเพิ่มขึ้น หรือเคลื่อนที่ได้ ส่วน อาร์เซนิก สามารถเกิดออกซิเดชันเปลี่ยนรูปได้มากที่สุด เนื่องจากอาร์เซนิก (As^{+5}) มีความเป็นพิษน้อยกว่า อาร์เซนิก (As^{+3}) จึงใช้ อาร์เซนิก (As^{+5}) ที่มีความเข้มข้นสูง ตกตะกอนร่วมกับ Fe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(III) ได้เป็น FeAsO_4 ส่วน อาร์เซนิก(As^{+5}) ที่มีความเข้มข้นต่ำ ใช้ตกตะกอนร่วมกับ $\text{Fe}(\text{OH})_2$ และ $\text{Fe}(\text{III})$ ที่มีความเข้มข้นสูง ได้ผลิตภัณฑ์เป็น อาร์เซนิกเฟอร์ไรไฮไดรด์ (Arsenic ferrihydride) ซึ่งสามารถทนต่อความเป็นกรด และการชะได้ (Robins, 1992) ส่วนโลหะอื่นๆ เช่นปรอท ตะกั่ว และเงิน สามารถประยุกต์ใช้ได้กับการรีดักชัน การบำบัดทางเคมีที่เหมาะสมสามารถทำได้โดยการฉีดสารเคมีเข้าไปในน้ำใต้ดินได้โดยตรง แต่ ก็อาจจะทำให้น้ำมีการปนเปื้อนได้

2.3.5 การบำบัดด้วยแผ่นกั้นที่น้ำซึมผ่านได้ (Permeable treatment walls)

แผ่นกั้นที่น้ำซึมผ่านได้ ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งบรรจุ reactive substance ใช้สำหรับการลดการรวมตัวของโลหะ ที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ซึ่งประกอบไปด้วยวัสดุหลายชนิด เช่น ซีโอไลต์ ธาตุเหล็ก และปูนขาว (Vidac and Pohland, 1996) ผลของการทำก่อนการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ธาตุเหล็กสามารถใช้ลดโครเมียม และใช้ปูนขาวสำหรับการตกตะกอนของตะกั่ว ข้อดีของเทคนิคนี้คือเหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนในบริเวณกว้าง โดยเราสามารถควบคุมการบำบัดและควบคุมอัตราการไหลได้



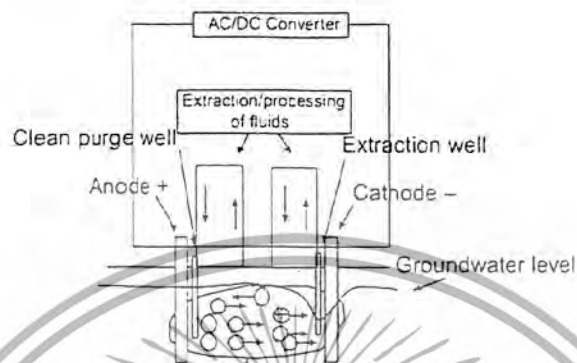
รูปที่ 2.3 แสดงรูปของแผ่นกั้นน้ำ

2.3.6 อิเล็กโทรไคเนติกส์ (Electrokinetics)

กระบวนการอิเล็กโทรไคเนติกส์ ดังรูปที่ 2.4 เป็นการผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสอ่อนๆ ระหว่างขั้วแอโนดและแคโทดในดินที่ปนเปื้อน โดยไอออนและอนุภาคประจุเล็ก ๆ ที่มีประจุบวกจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทด ส่วนไอออนที่มีประจุลบจะเคลื่อนที่ไปที่ขั้วแอโนด ส่วนสารละลายบัฟเฟอร์ที่อยู่ในแท่งอิเล็กโทรดจะช่วยทำให้พีเอชมีค่าคงที่ วิธีนี้สามารถทำได้ในสถานที่จริง หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจจะขุดดินขึ้นมาทำก็ได้ ไอออนของโลหะที่ละลายได้และที่เกิดพันธะยึดจับในดิน เช่น ออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และคาร์บอเนต สามารถที่จะถูกกำจัดได้โดยวิธีนี้



รูปที่ 2.4 กระบวนการอิเล็กโตรไคเนติกส์

2.3.7 กระบวนการชีวเคมี (Biochemical processes)

เป็นเทคนิคที่ใช้สกัดโลหะออกโดยใช้จุลินทรีย์ เช่น

- *Thiobacillus sp.* เป็นแบคทีเรียที่อยู่ในสภาวะความเป็นกรด (pH 4) และ

ต้องการอากาศ สามารถอยู่ได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 15-55 °C โดยจุลินทรีย์จะทำให้เกิดการออกซิเดชันของโลหะซัลไฟด์ได้เป็นกรดซัลฟิวริก ทำให้โลหะที่อยู่ในดินละลายออกมา

- Sulfate – reducing bacteria (SRB) จากโลหะ (Me) ซัลไฟด์



ซึ่งปฏิกิริยาข้างต้นเกิดในสภาวะที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน

2.3.8 การฟื้นฟูโดยใช้พืช (Phytoremediation)

พืช เช่น *Thlaspi*, *Urtica*, *Chenopodium*, *Polygonum sachalase* และ *Alyssim* มีความสามารถในการสะสม แคลเดเมียม ทองแดง ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสี และสามารถใช้น้ำบาดินทางอ้อมได้ (Baker et al., 1991) กลไกการดูดซึมโลหะของพืชแสดงดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีนี้มีความจำกัดสำหรับดินที่ปนเปื้อนไม่ลึกมาก Rhizofiltration เป็นการดูดซึมโดยพืชชีวมวล ซึ่งสามารถใช้บำบัดน้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักได้



รูปที่ 2.5 แสดงกลไกการดูดซึมโลหะของพืช

2.3.9 การบำบัดในพื้นที่ (soil flushing in situ treatment)

เป็นการบำบัดโดยใช้สารละลายแทรกซึมลงไปในดิน เช่น ปล่อยให้ น้ำท่วมบริเวณผิวหน้าดิน การใช้สปริงเกอร์ ปล่อยให้ น้ำชะลงดิน ฯลฯ โดยประสิทธิภาพของการสกัดจะขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนที่ของน้ำในดิน ถ้ามีการซึมผ่านมากก็จะทำให้มีประสิทธิภาพดี

สารเคมีที่เติมลงไป เช่น กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน กรดไขมัน โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ละลายได้ในดินที่มีสารอินทรีย์) สารที่ละลายน้ำได้ เช่น เมทานอล สารประกอบเชิงซ้อน เช่น อีดีทีเอ กรดที่ผสมกับสารประกอบเชิงซ้อน หรือตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์ บั๊กจี้ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด เช่น ค่าพีเอชของดิน ชนิดของดิน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ขนาดของอนุภาค ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ ปริมาณสารปนเปื้อน

2.3.10 การล้างดินด้วยการเติมรีเอเจนต์ (Soil washing by chemical)

โลหะหนักสามารถเคลื่อนออกจากดินได้โดยการเติมเอเจนต์ต่างๆลงไปในดิน กระบวนการ soil flushing ที่ใช้น้ำหรือสารละลายเคมีเข้าไปในดิน แสดงดังรูปที่ 2.6 สารรีเอเจนต์ต่างๆ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กรดอินทรีย์ เช่น ซัลฟูริก และ ไฮโดรคลอริก ที่พีเอชต่ำกว่า 2
2. กรดอินทรีย์ เช่น อะซิติก และ ซิตริก ที่พีเอชไม่เกิน 4
3. คีเลตติงเอเจนต์ เช่น เอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติก (EDTA) และ ไนทริโลไธอะซีเตต (nitrilotriacetate ;NTA)

ดินที่ผ่านการบำบัดสามารถนำกลับสู่ธรรมชาติได้ ดินที่มีเปอร์เซ็นต์ clay และปริมาณสารอินทรีย์ต่ำกว่า 10-20 % (เช่น ดินทราย) จะบำบัดด้วยตัวสกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยที่สารอินทรีย์และโลหะจะเคลื่อนที่ออกมา (Hinsenveld et al.,1990)

โดยทั่วไปดินที่มีปริมาณไฮยาโนค ฟลูออไรด์ และซิลไฟด์ต่ำ และ ซีอีซี 50-100 meq/kg และขนาดอนุภาคเท่ากับ 0.25-2 มิลลิเมตร และสารปนเปื้อนที่สามารถละลายน้ำได้มากกว่า 1000 มิลลิกรัม จะสามารถบำบัดด้วยการล้างดินได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด (Harzadous Waste Consultant ,1996)



รูปที่ 2.6 กระบวนการ soil flushing ที่ฉีดน้ำ หรือสารละลายเคมีเข้าไป

2.3.11 การบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอน (Treatment of sediments)

เนื่องจากในตะกอนมีน้ำอยู่ปริมาณมาก ดังนั้นการลดน้ำจึงจำเป็นต้องทำบ่อยจนกระทั่งบำบัดเสร็จ วิธีการเติมหรือไม่เติมสารโคแอกกูแลนต์ และสารฟลอคคูแลนต์ หรือการใช้แรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือใช้เซนตริฟิวจ์ (centrifuges) วิธีการบำบัดคล้ายกับการบำบัดดิน เช่น บำบัดด้วยไฮโดรไซโคลน ก่อนการทำให้เป็นก้อนและการปรับเสถียร และการสกัดด้วยกรด

2.4 การบำบัดดินที่ถูกปนเปื้อนโดยการล้างดิน

การขุดดินเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของวิธีการรักษาคุณภาพดินในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน การขุดดินอาจเป็นการรักษาคุณภาพดินในพื้นที่ การรักษาคุณภาพดินนอกพื้นที่ หรือการจัดการ(ฝังกลบ)โดยไม่มีผลต่อคุณภาพดิน การรักษาคุณภาพของดินที่ถูกปนเปื้อนบางครั้งกลับไปทำการปฏิบัติการรักษา ณ พื้นที่ที่ทำการขุด

ในปัจจุบัน การขุดดินที่ถูกปนเปื้อนมักจะทำในลักษณะการบำบัดคุณภาพดินภายในพื้นที่ ในการขุดดินนั้นมีข้อเสียหลายอย่าง ถ้าเราไม่ทำตามขั้นตอนการบำบัดคุณภาพดินในพื้นที่

- 1) การขุดดินที่ถูกปนเปื้อนจากกรรที่อนุญาตให้ ไม่มีการควบคุมการปลดปล่อยไอระเหยที่ทำให้อากาศปนเปื้อนจึงทำให้มีการเสี่ยงต่อการได้รับอันตราย
- 2) โครงสร้างด้านบน-ด้านล่างของพื้นดิน วิธีการบริการฝังกลบสาธารณะ ที่ระบายน้ำ โสโครกและที่ระบายน้ำ และอาคารลักษณะของปัญหาเหล่านี้ที่พบเห็นคือถ้ามีการขยายการปนเปื้อนไปยังบริเวณใกล้เคียงหรือภายใต้โครงสร้างเหล่านี้แล้วจะก่อให้เกิดการปนเปื้อนได้
- 3) วิธีการรักษาคุณภาพพื้นผิวดินมีแนวโน้มที่ราคาสูงกว่าการรักษาคุณภาพในพื้นที่
- 4) การจัดการเกี่ยวกับดินที่ถูกปนเปื้อน ซึ่งความยากในการปฏิบัติการรักษาจะเพิ่มขึ้น และในพื้นที่ควบคุมบางพื้นที่ดินจึงถูกจัดอยู่ในกลุ่มของเสียอันตราย
- 5) พื้นที่หลังจากการปฏิบัติการรักษาต้องฝังดินที่ขุดให้เต็มเหมือนเดิม

การขุดดินนั้นโดยปกติแล้วง่ายในการดำเนินการเป็นเทคนิคที่รู้จักกันดีและมีความสามารถในการกำจัดได้มาก โดยที่สามารถกำจัดการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นโดยพื้นที่ เทคนิคนี้สามารถทำได้โดยทันทีและมักจะใช้กับพื้นที่ที่ต้องการบำบัดโดยด่วน ความสามารถในการตอบสนองอย่างรวดเร็วในการกำจัดการปนเปื้อน ซึ่งเป็นหนึ่งในข้อดีหลักเกี่ยวกับวิธีการขุดในพื้นที่ดินและสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนสามารถกำจัดได้ใน 2-3 ชั่วโมง ความสามารถในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในดินขึ้นอยู่กับขนาดที่ใหญ่ ความมีรูพรุนและโครงสร้างทางเคมีของดินกระบวนการสกัดทำความสะอาดดินที่ปนเปื้อนที่สำคัญมี 3 ประเภท

- 1) การล้างน้ำด้วยตัวสกัด
 - (a) สารลดแรงตึงผิวช่วยกระตุ้นให้มีการละลายของสารปนเปื้อนลงในน้ำ
 - (b) การเติมตัวคีเลตดึงที่ซึ่งเป็นตัวที่เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับโลหะและกระตุ้นการละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (c) กรดและหรือสารละลายต่างที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ทำให้เป็นกลางหรือทำลายการปนเปื้อน
- 2) การใช้สารละลายสกัดการปนเปื้อนสารอินทรีย์ : สารละลายอินทรีย์ที่ละลายและเคลื่อนที่ปนเปื้อนเข้าไปในสารละลาย
- 3) การขจัดสิ่งปนเปื้อนด้วยอากาศเป็นการขจัดสิ่งปนเปื้อนที่เกิดจากสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ โดยใช้ตัวกระทำที่เป็นไอน้ำหรืออากาศโดยประยุกต์กับความร้อนสูญญากาศหรือทั้งสอง โดยเพิ่มอัตราการสกัดการล้างโดยใช้ตัวสกัดนั้นสามารถใช้กำจัดสารอินทรีย์พวกที่ละลายน้ำ แต่ไม่ระเหยและสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำรวมทั้งโลหะหนักที่อยู่ในดินได้

2.5 การใช้น้ำล้างดิน

การล้างดินเป็นการเรียกกระบวนการที่ใช้เกี่ยวกับพื้นผิวดินที่มีการปนเปื้อนโดยมีการกำจัดความปนเปื้อนออกจากดินผ่านการชะล้างตัวกลาง เหมือนกับการใช้น้ำล้าง การล้างดินและการล้างด้วยน้ำที่ไหลพุ่งอย่างแรง(การชะดิน)นั้นเป็นกระบวนการที่ทำในพื้นที่ ขณะที่การล้างดินนั้นทำนอกพื้นที่ ในการล้างดินด้วยตัวที่ใช้สกัดซึ่งสารละลายที่ใช้ล้างสามารถเป็นสารละลายที่เป็นด่าง(สารที่กัดกร่อน ปูนขาว หินปูนที่แตกตัวด้วยน้ำ หรือในอุตสาหกรรมที่ใช้สารประกอบเบสในการล้าง) สารละลายกรด (กรดซัลฟิวริก ไฮโดรคลอริก กรดไนตริก ฟอสฟอริก หรือคาร์บอนิก) หรือสารละลายที่เป็นสารลดแรงตึงผิว หรือคีเลตติ้งเอเจนต์ เปอร้ออกไซด์ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ และตัวออกซิไดซิงเอเจนต์ที่สามารถใช้ในการกำจัด (สกัด) โลหะ สารลดแรงตึงผิวและคีเลตติ้งเอเจนต์มีความสำคัญเพราะว่าดินส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์และโลหะหนัก การขุดดินเป็นการบำบัดขั้นต้นก่อนการกรอง เพื่อที่จะกำจัดวัตถุที่มีขนาดใหญ่เหมือนกับชิ้นของเศษไม้และคอนกรีต รวมทั้งดินที่มีความแข็งมากเมื่อสกดขนาดของมัน ซึ่งวัตถุที่มีขนาดใหญ่เหล่านี้ถูกแยกความปนเปื้อนออกจากดิน ซึ่งทำโดยแยกของแข็ง/ของเหลว โดยเป็นสัดส่วนแบบหยาบๆในการแยกดิน ตัวที่ใช้สกัดถูกทำความสะอาดและนำกลับมาใช้ใหม่

การแยกดินออกเป็นสัดส่วนเพื่อที่ทำการบำบัดขั้นสุดท้ายซึ่งเป็นการทำความสะอาดของเหลือจากการสกัดที่ตกค้าง

ในปัจจุบันระบบที่ใช้สารต่าง ๆ ในการสกัดสำหรับการขุดดินที่ปนเปื้อนมาทำความสะอาดนั้นมีการทำการทดลองเพื่อนำร่องก่อน การสาธิตการเดินระบบด้วยเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดขั้นต้น การสกัดดินที่ถูกปนเปื้อน และการบำบัดขั้นสุดท้ายโดยใช้ตัวสกัด ผลกระทบจากการแยกตัวสกัดออกจากดิน ความเข้มข้นของการปนเปื้อน การนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อที่ทำให้ตัวสกัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นใหม่หรือกลับไปเป็นเหมือนเดิมอีก และสาเหตุการทำลายการปนเปื้อน มีการดำเนินการ โดยลองทำการทดลองเพื่อที่จะจำกัดหรือลดชนิดการปนเปื้อนในดิน การจำกัดความเข้มข้นหรือ ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการบ่งชี้ขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสาธิตการทดลองนั้นมีความเป็นไปได้ ว่าดินทรายใช้ในกระบวนการ ขณะดำเนินการดินเหนียวและดินร่วนไม่มีการสาธิตหรือทำการ ทดลองและมีความเกี่ยวข้องกับการพัฒนาหน่วยกระบวนการที่บำบัดสัดส่วนของดินที่เป็น คอลลอยด์ขนาดเล็กมีการพิจารณาที่จะพัฒนากระบวนการนี้ในเยอรมันและเนเธอร์แลนด์

Environmental Protection Agency (EPA) มีการพัฒนาหน่วยปริมาตรรีดักชันที่เคลื่อนที่ ได้ (VRU) สำหรับการล้างดินซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ การลองทำการทดลองในระบบการทดลองใน ระบบการล้างสำหรับบริเวณที่ใช้ทำความสะอาดดินที่ถูกปนเปื้อนด้วยวัตถุอันตราย สภาพทางด้าน ศิลปะการใช้เครื่องมือที่ล้างและสนับสนุนประโยชน์เกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ มีความสามารถที่จะ กำจัด VOCs โดยไอน้ำร้อนและการบำบัดด้วยอากาศ ซึ่งสามารถล้างด้วยน้ำ (ในการรวมสารลด แรงดึงผิวกับสารฟอกขาว) มากกว่าสัดส่วน 10:1 อัตราส่วนน้ำต่อดิน ขณะที่มีการแปรค่าอุณหภูมิ ของน้ำตามมาตรฐานถึง 150 องศาฟาเรนไฮต์ (Noyes; 1991)

2.6 การล้างดินด้วยสารต่างๆ

สารที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินโดยวิธีการล้างดิน (Soil washing) มีหลาย ชนิด ซึ่งจะมีประสิทธิภาพแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น

2.6.1 การล้างดินด้วยสารลดแรงดึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงดึงผิวที่ใช้ในการล้างดินมีหลายชนิด เช่น สารลดแรงดึงผิวทางชีวภาพ (Biosurfactant) ที่สังเคราะห์ได้จากจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ แตกต่างกันไปตามชนิดของสารลดแรงดึง ผิวทางชีวภาพ การกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้สารชนิดนี้อาจมีประสิทธิภาพไม่ดี เท่าที่ควร และการเตรียมสารมีความยุ่งยากมากเนื่องจากต้องทำการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในถังหมัก ทำให้ต้นทุนในการเตรียมสารค่อนข้างสูง จึงเหมาะกับการทดลองที่สามารถเตรียมสารได้เอง ตัวอย่างสารลดแรงดึงผิวทางชีวภาพ คือ Surfactin, Sphorolipid

2.6.2 การล้างดินด้วยสารประเภทคีเลตติงเอเจนท์ (Chelating agent)

การกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้สารประเภทคีเลตติงเอเจนท์ เป็นวิธีที่มี ประสิทธิภาพค่อนข้างสูง เนื่องจากสารดังกล่าวสามารถเกิดการคีเลชัน (Chelation) กับโลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน ทำให้ได้สารประกอบเชิงซ้อน แต่สารชนิดนี้มีราคาสูงมาก จึงไม่นิยมใช้ ตัวอย่างสารประเภทคีเลตดึงเอเจนต์ คือ โซเดียมอีดีทีเอ (Sodium EDTA; Na₂EDTA)

2.6.3 การล้างดินด้วยสารประเภทรีดิวซิงเอเจนต์ (Reducing agent)

สารประเภทรีดิวซิงเอเจนต์เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ในงานบำบัดน้ำเสีย อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเครื่องหนัง และอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกมากมาย เนื่องจากสารชนิดนี้มีราคาถูกจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการล้างดิน แต่อาจมีประสิทธิภาพไม่ดีนัก จึงมีการนำสารดังกล่าวมาใช้ควบคู่กับสารประเภทคีเลตดึงเอเจนต์ เพื่อลดต้นทุนในการกำจัดโลหะหนักตัวอย่างสารประเภทรีดิวซิงเอเจนต์ คือ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodiummetabisulfite; Na₂S₂O₃)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Riyard Abumaizar, Edward H.smith (1999)

ทำการศึกษาการล้างดิน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Na₂S₂O₃) และโซเดียมอีดีทีเอ (Na₂EDTA) ในการกำจัดโลหะที่ปนเปื้อนในดิน โดยงานวิจัยนี้ทำการทดสอบคุณสมบัติของดิน และทำการลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน โดยทำการทดสอบแบบคอลัมน์ ร่วมกับการล้างดินแบบครั้ง และใช้เครื่อง Inductive Coupled Plasma Spectrometer (ICP) ในการวิเคราะห์ โดยการล้างดินจะใช้ Na₂S₂O₃ และ Na₂EDTA เปรียบเทียบกับน้ำปราศจากไอออน (DI water) ด้วย ซึ่งผลที่ได้พบว่า เมื่อใช้น้ำปราศจากไอออนล้างดิน สามารถกำจัดโลหะแคดเมียมได้มากถึง 70% ส่วนโลหะชนิดอื่นๆ ได้แก่สังกะสี ถูกกำจัดได้ 25-30% โครเมียมถูกกำจัดได้ 20-25% และตะกั่วถูกกำจัดได้ 10% นอกจากนี้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการล้างดินด้วยสารละลายทั้งสองชนิด พบว่าเมื่อนำเอาสารละลายทั้งสองชนิดมาผสมกันจะช่วยสามารถประหยัดค่าใช้จ่าย และยังเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินได้มากขึ้นด้วย

Zhongming Li , Ji-Wei Yu , Ivars Neretnieks (1997)

ศึกษาผลของการใช้เทคนิค Electrokinetic โดยนำสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ใส่ระหว่างขั้วแคโทดและดินที่จะทำการบำบัด โลหะหนักจะเคลื่อนที่ออกจากดิน และตกตะกอนในสารละลายที่นำไฟฟ้า สิ่งที่ต้องระวัง คือ ในระหว่างที่โลหะตกตะกอน จะทำให้สภาพการนำไฟฟ้าลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองนี้ ได้ทำการกำจัดตะกั่ว (+2) แคดเมียม (+3) และโครเมียม (+3) จากทราย ซึ่งผลของการทดลองพบว่าสามารถกำจัดโลหะหนักได้มีประสิทธิภาพสูงกว่า 90%

Riyard Abumaizar and Lutful I. Khan (1996)

ศึกษาการล้างดินในคอลัมน์เพื่อกำจัดสังกะสี และตะกั่ว ด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) และ โซเดียมอีดีทีเอ (Na_2EDTA) โดยการทดลองใช้ดิน 2 ตัวอย่าง คือ silty clay และ millpond sludge นำดินจำนวน 500 กรัมใส่ในคอลัมน์ ทำการทดลองล้างดินตัวอย่าง silty clay ด้วยน้ำประปา 1.5 ลิตร รอบที่ 2-4 ล้างด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เข้มข้น 0.2 โมลาร์ พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วและสังกะสี เท่ากับ 61 และ 93.36 ตามลำดับ ส่วน millpond sludge ตัวอย่างที่ 1 ล้างด้วยน้ำประปา ตัวอย่างที่ 2 ล้างด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ตัวอย่างที่ 3 ล้างด้วย Na_2EDTA เข้มข้น 0.05 โมลาร์ พบว่าการล้างด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เข้มข้น 0.2 โมลาร์ กำจัดตะกั่วและสังกะสีได้ 48 และ 75 เปอร์เซ็นต์ และ Na_2EDTA กำจัดได้ 70.4 และ 92.7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

B. Thirumalai Nivas , David A. Sabatini , Bor- Jire Shiau และ Jeffrey H. Harwell (1995)

ทำการวิจัยชี้ให้เห็นถึงการใช้สารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมกับดินที่ปนเปื้อนโครเมียม ผลของการทดลองจากการศึกษาในถึงปฏิกิริยาพบว่าสารลดแรงตึงผิว เมื่อใช้เพียงอย่างเดียวสามารถสกัดโครเมียมได้มากกว่าน้ำ 2-2.5 เท่า ส่วนสารที่ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนอย่าง ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ ให้ผลดีกว่าน้ำ 9.3 -12 เท่า ผลของการศึกษาในคอลัมน์แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมกับสารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน คือ ใช้ Dowfax 8390 และ ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการสกัดโครเมียมที่ปนเปื้อนในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 ดินที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ใช้ดินที่พรสุตาและสุวภัทร์(2545)ได้ทำการวิจัยพื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยต้นขลุ้ โดยปลูกต้นขลุ้ลงในดินเป็นเวลา 60 วัน และแยกดินส่วนหนึ่งเก็บใส่ถุงพลาสติกไว้ประมาณ 16 เดือน จากนั้นจึงนำดินดังกล่าวมาใช้ในการทดลองนี้ โดยแบ่งดินเป็น 6 ตัวอย่าง คือ

- | | |
|---------------|--|
| ตัวอย่างที่ 1 | } ไม่มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไป |
| ตัวอย่างที่ 2 | |
| ตัวอย่างที่ 3 | |
| ตัวอย่างที่ 4 | มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไป 100 พีพีเอ็ม |
| ตัวอย่างที่ 5 | มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไป 150 พีพีเอ็ม |
| ตัวอย่างที่ 6 | มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไป 200 พีพีเอ็ม |

การทดลองนี้ศึกษาโดยใช้ดิน 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 เป็นดินตัวอย่างที่ 4 ซึ่งมีการเติมสารละลายโครเมียมลงไป 100 พีพีเอ็ม

และ ชุดที่ 2 คือ ดินตัวอย่างที่ 1 ซึ่งไม่มีสารเติมสารละลายโครเมียมลงไปในการทดลองได้ทำการทดลองโดยเติมสารละลายโครเมียมเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ลงไปในดินชุดที่ 2 แล้วทำการทดลองล้างดินเปรียบเทียบกับ ดินชุดที่ 1 โดยใช้น้ำกลั่น สารละลายอีดีทีเอ และสารละลายโซเดียมโอดีซิกซัลเฟต สรุปรายละเอียดของดินทั้ง 2 ชุด ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สรุปรายละเอียดของดินที่ใช้ในการทดลอง

ดิน	การทดลองที่พรสุตาและสุวภัทร์ (2545) ทำไว้	ในการทดลองนี้
ชุดที่ 1	ได้เติมสารละลายโครเมียมเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ลงในดินก่อนทำการปลูกต้นขลุ้ เพื่อฟื้นฟูดิน	นำมาทดลองล้างดินด้วยสารละลายชนิดต่าง ๆ เลย
ชุดที่ 2	ไม่ได้เติมสารละลายโครเมียมลงในดิน (เป็นชุดทดลองควบคุม)	ทำการเติมสารละลายโครเมียมเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ลงในดิน แล้วนำมาทดลองล้างดินด้วยสารละลายชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับดินชุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นงานการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีทำการทดลอง

3.2.1 การศึกษาเบื้องต้น

3.2.1.1 การหาปริมาณโครเมียมทั้งหมดในดินก่อนเริ่มการทดลอง

1. ทำการสุ่มตัวอย่างดิน แล้วชั่งดินตัวอย่างทั้ง 6 ตัวอย่าง จากข้อ 3.1 มา 0.2 กรัม 3 ชุดการทดลอง
2. นำดินตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไคเจสชัน (Microwave Digestion) ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
3. หลังจากย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโทรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer) ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.

3.2.1.2 การเติมโครเมียมลงไปดินและหาปริมาณโครเมียมทั้งหมด

1. นำดินตัวอย่างที่ 1 จากข้อ 3.1 จำนวน 10 กรัม ใส่สารละลายโครเมียมเข้มข้น 100, 150, 200 พีพีเอ็ม จำนวน 10 มิลลิลิตร (ดูวิธีการเตรียมที่ภาคผนวก ก.)
2. คลุกเคล้าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน
3. ทำการสุ่มตัวอย่างดิน แล้วชั่งดินตัวอย่างมา 0.25 กรัม 3 ชุดการทดลอง
4. นำดินตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไคเจสชันตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
5. หลังจากย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
6. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโทรมิเตอร์ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.

3.2.1.3 การหาปริมาณโครเมียมในดินชุดที่ 2

1. ทำการสุ่มตัวอย่างดิน แล้วชั่งดินชุดที่ 2 จากข้อ 3.1 มา 0.25 กรัม 10 ชุด
2. นำดินตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไคเจสชันตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
3. หลังจากย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโทรมิเตอร์ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.

3.2.2 การล้างดินด้วยน้ำกลั่น

3.2.2.1 การหาปริมาณของน้ำและเวลาที่เหมาะสมของน้ำกลั่น

1. ชั่งดินตัวอย่างทั้ง 2 ชุด มาจำนวน 1.00 กรัม 3 ชุดการทดลองใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10, 25, 50, 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ
3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
4. นำสารละลายกรองผ่านเครื่องกรองบุชเนอร์ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42
5. นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโทรมิเตอร์ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
6. นำดินที่กรองได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
7. นำดินที่อบไปย่อยด้วยเครื่องมือโครเวฟไมโครเวฟไดเจสชัน ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
8. หลังจากย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
9. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโทรมิเตอร์ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
10. ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เปลี่ยนเวลาในการเขย่าจาก 0.5 ชั่วโมงเป็น 3, 6, 12, 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.2.2.2 การหาพีเอชที่เหมาะสมของน้ำกลั่น

1. ชั่งดินตัวอย่างทั้ง 2 ชุด มาจำนวน 1.00 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. นำน้ำกลั่นมาปรับพีเอชด้วยกรดไฮโดรคลอริก หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้พีเอช 2, 4, 8, 10
3. เติมน้ำกลั่นที่ปรับพีเอชแล้วโดยปริมาณน้ำได้จากการทดลองหัวข้อ 3.2.2.1 จำนวน 3 ชุดการทดลอง
4. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาที่ได้จากการทดลอง

หัวข้อ 3.2.2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำสารละลายกรองผ่านเครื่องกรองบุชเนอร์ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42
6. นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโทรมิเตอร์ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
7. นำดินที่กรองได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
8. นำดินที่อบไปย่อยด้วยเครื่องมือโครเวฟไคเจสชัน ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
9. หลังจากย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
10. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโทรมิเตอร์ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.

3.2.3 การล้างดินด้วยน้ำกลั่นผสมอิตีทีเอ

3.2.3.1 การหาปริมาณที่เหมาะสมของอิตีทีเอ

1. ชั่งดินตัวอย่างทั้ง 2 ชุด จำนวน 1.00 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายอิตีทีเอที่มีความเข้มข้นเป็น 0.5,1,2,3 เท่าของความเข้มข้นโครเมียม จำนวน 3 ชุดการทดลอง
3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาที่ได้จากการทดลองหัวข้อ 3.2.2.1
4. นำสารละลายกรองผ่านเครื่องกรองบุชเนอร์ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42
5. นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโทรมิเตอร์ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
6. นำดินที่กรองได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
7. นำดินที่อบไปย่อยด้วยเครื่องมือโครเวฟไคเจสชัน ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
8. หลังจากย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
9. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโทรมิเตอร์ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2 การหาพีเอชที่เหมาะสมของอิตีทีเอ

1. ชั่งดินตัวอย่างทั้ง 2 ชุด มาจำนวน 1.00 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 25 มิลลิลิตร

2. นำสารละลายอิตีทีเอมาปรับพีเอชด้วยกรดไฮโดรคลอริก หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้พีเอช 2,4,6,8,10

3. เติมสารละลายอิตีทีเอที่ปรับพีเอชแล้ว โดยใช้ปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองหัวข้อ 3.2.2.1 จำนวน 3 ชุดการทดลอง

4. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาที่ได้จากการทดลองหัวข้อ 3.2.2.1

5. นำสารละลายกรองผ่านเครื่องกรองบูชเนอร์ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42

6. นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรมิเตอร์ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.

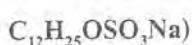
7. นำดินที่กรองได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

8. นำดินที่อบไปย่อยด้วยเครื่องมือโครเวฟไดเจสชัน ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.

9. หลังจากย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

10. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรมิเตอร์ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.

3.2.4 การล้างดินด้วยน้ำกลั่นผสมโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl Sulfate;



3.2.4.1 การหาปริมาณที่เหมาะสมของโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต

1. ชั่งดินตัวอย่างทั้ง 2 ชุด จำนวน 1.00 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตที่มีความเข้มข้นเป็น 0.5,1,2,3,4,5 เท่าของความเข้มข้นโครเมียม จำนวน 3 ชุดการทดลอง

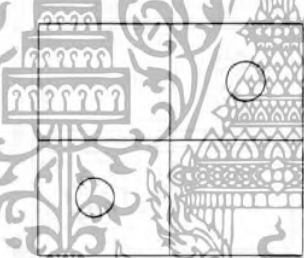
3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาที่ได้จากการทดลองหัวข้อ 3.2.2.1

4. นำสารละลายกรองผ่านเครื่องกรองบูชเนอร์ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอสซอร์บชัน สเปกโทรมิเตอร์ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
6. นำดินที่กรองได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
7. นำดินที่อบไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไคเจสชัน ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
8. หลังจากย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนโสร่งขนาดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
9. นำสารละลายไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอสซอร์บชัน สเปกโทรมิเตอร์ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.

3.3 การสุ่มตัวอย่างดิน

1. ดูกุณดินให้ทั่วทั้งพื้นที่ จากนั้นแบ่งดินออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน ดังรูป
 
2. สุ่มเลือกดินที่อยู่ตรงข้ามกันมารวมกันเป็นกองเดียว
3. นำดินที่รวมเป็นกองเดียวแล้วมาหาซ้ำขั้นที่ 1 และ 2 อีก 2 ครั้ง แล้วจึงนำดินที่ได้ไปทำการทดลอง

3.4 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 อุปกรณ์

1. ชุดย่อยสลาย (microwave laboratory system)รุ่น 1200 Mega
2. เครื่องอะตอมมิกแอสซอร์บชันสเปกโทรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer) ยี่ห้อ Shimadzu บริษัท พาราวิเนเซอร์จำกัด
3. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
4. ชุดเครื่องกรองบุชเนอร์
5. เครื่องแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 สารเคมี

- | | |
|--|--------------------------|
| 1. กรดไนตริกเข้มข้น 65% (w/w)(HNO ₃) | เกรดวิเคราะห์ (AR grade) |
| 2. กรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น 40%(w/w)(HF) | เกรดวิเคราะห์ (AR grade) |
| 3. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37%(w/w)(HCl) | เกรดวิเคราะห์ (AR grade) |
| 4. โซเดียมโคดีซิลซัลเฟต | เกรดวิเคราะห์ (AR grade) |
| 5. EDTA | เกรดวิเคราะห์ (AR grade) |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาหาปริมาณโครเมียมในดิน

นำดินที่พรศุตาและสุวภัทร์ (2545) ได้ทำการวิจัยฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยต้นขลุ้ โดยปลูกต้นขลุ้ไว้ 60 วัน หลังจากนั้นจึงต้นขลุ้ ออก และแยกดินส่วนหนึ่งเก็บไว้ พลาสติกไว้ประมาณ ซึ่งในการทดลองนี้นำดินดังกล่าวมาวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมทั้งหมดในดิน ผลการวิเคราะห์ แสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณโครเมียมในดินของพรศุตาและคณะ (2545)

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมที่พรศุตาและสุวภัทร์เดิมลงในดินก่อนทำการวิจัย (พีพีเอ็ม)	ข้อมูลเดิม	จากการทดลอง				เฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	
ตัวอย่างที่ 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ตัวอย่างที่ 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ตัวอย่างที่ 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ตัวอย่างที่ 4	100	0.135	0.092	0.153	0.103	0.170	0.129±0.038
ตัวอย่างที่ 5	150	0.214	0.095	0.096	-	0.229	0.140±0.077
ตัวอย่างที่ 6	200	0.325	0.795	0.596	0.270	0.132	0.448±0.302

หมายเหตุ พรศุตาและคณะ (2545)

- ไม่มีข้อมูล

nd ต่ำกว่าค่า detection limit

พบว่า ปริมาณโครเมียมในดินจากข้อมูลเดิมและจากการทดลองได้ผลดังนี้ คือ ในดินตัวอย่างที่ 1 , 2 และ 3 ซึ่งเป็นดินที่ไม่ได้เติมสารละลายโครเมียม จากการวิเคราะห์ไม่พบปริมาณโครเมียมในดิน และในการทดลองนี้วิเคราะห์ไม่พบปริมาณโครเมียมเช่นกัน

ในดินตัวอย่างที่ 4 , 5 , 6 จากข้อมูลเดิมมีปริมาณโครเมียมเท่ากับ 0.135 , 0.214 และ 0.325 มิลลิกรัม ตามลำดับ และจากการทดลองนี้วิเคราะห์ปริมาณโครเมียมได้เท่ากับ 0.088 , 0.140 และ 0.448 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ในการทดลองนี้การวิเคราะห์ดินตัวอย่างเดียวกันในแต่ละครั้งจะให้ค่าที่วิเคราะห์ได้ค่อนข้างแตกต่างกัน จึงได้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองต่อไปตามหัวข้อ 4.2

4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมในดินที่มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไป

โดยนำดินตัวอย่างที่ 1 จากข้อ 4.1 มาเติมสารละลายโครเมียมลงไป 100,150,200 พีพีเอ็ม วางตากแดดไว้ เป็นเวลา 7 วันแล้ว มาวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมทั้งหมดในดิน แสดงผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมในดินที่มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไป

ปริมาณโครเมียมที่เติมลงไป		ปริมาณโครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้
พีพีเอ็ม	มก./ก.	(มก./ก.)
100	0.10	0.099
150	0.15	0.273
200	0.20	0.239

พบว่า ดินที่มีการเติมสารละลายโครเมียมเข้มข้น 100, 150 และ 200 พีพีเอ็ม เมื่อนำไปวิเคราะห์แล้วจะมีปริมาณโครเมียมเท่ากับ 0.099, 0.273 และ 0.239 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ผลการวิเคราะห์ดินที่มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไปเท่ากับ 0.15 มิลลิกรัมต่อกรัม ให้ผลการวิเคราะห์แตกต่างไปจากปริมาณโครเมียมที่ได้เติมลงไป ส่วนผลการวิเคราะห์ดินที่มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไปเท่ากับ 0.10 และ 0.20 มิลลิกรัมต่อกรัม ให้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับปริมาณโครเมียมที่เติมลงไป ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ผลการวิเคราะห์ยังมีความแตกต่างไปจากปริมาณที่เติมลงไปบ้าง จึงได้ทำการทดลองยืนยันเพื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามหัวข้อ 4.3

4.3 การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวิเคราะห์

จากหัวข้อ 4.2 เลือกดินที่เติมสารละลายโครเมียมลงไป 100 พีพีเอ็ม มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมทั้งหมด 6 ครั้ง ในแต่ละครั้งจะสุ่มตัวอย่างมาประมาณ 0.25 กรัม ได้ผลดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ โครเมียมในดิน
ที่มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไป 100 พีพีเอ็ม (0.1 มก./กรัม)

น้ำหนักดินที่ชั่ง (กรัม)	ปริมาณ โครเมียมในดิน (มก./ก.)
0.2492	0.093
0.2555	0.099
0.2658	0.117
0.2505	0.115
0.2685	0.107
0.2160	0.088
ค่าเฉลี่ย	0.103
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.012

พบว่า การสุ่มตัวอย่างดินที่มีการเติมสารละลายโครเมียม 100 พีพีเอ็ม (0.1มก./ กรัม)
6 ครั้ง เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณ โครเมียมเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.103 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐานเท่ากับ 0.012

4.4 การหาปริมาณน้ำกลั่นที่เหมาะสมในการล้างดิน

ดินที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชุด คือ

ชุดที่ 1 ดินชนิดที่ 4 จากหัวข้อ 4.1 ซึ่งมีการเติมสารละลายโครเมียมเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม
(0.1 มก./กรัม)ตั้งแต่การปลูกพืชครั้งที่ 1

ชุดที่ 2 ดินจากหัวข้อ 4.3 ที่มีการเติมสารละลายโครเมียมเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม(0.1 มก./
กรัม) ลงไปในการทดลองนี้

และนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น 10 , 25 , 50 , 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที ผลการทดลอง
แสดงดังตาราง ที่ 4.4 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการหาปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ในการล้างดิน

ปริมาณน้ำ กลั่นที่ใช้ (มิลลิลิตร)	ปริมาณโครเมียมเฉลี่ยในดินที่วิเคราะห์ได้ (มก./ก.)			
	ดินชุดที่ 1 (n = 3)		ดินชุดที่ 2 (n = 3)	
	ก่อนล้าง	หลังล้าง	ก่อนล้าง	หลังล้าง
10	0.129±0.038	0.124±0.030	0.103±0.012	0.094±0.014
25	0.129±0.038	0.131±0.022	0.103±0.012	0.104±0.013
50	0.129±0.038	0.128±0.029	0.103±0.012	0.108±0.006
100	0.129±0.038	0.122±0.029	0.103±0.012	0.103±0.005



รูปที่ 4.1 แสดงผลของปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ในการล้างดิน

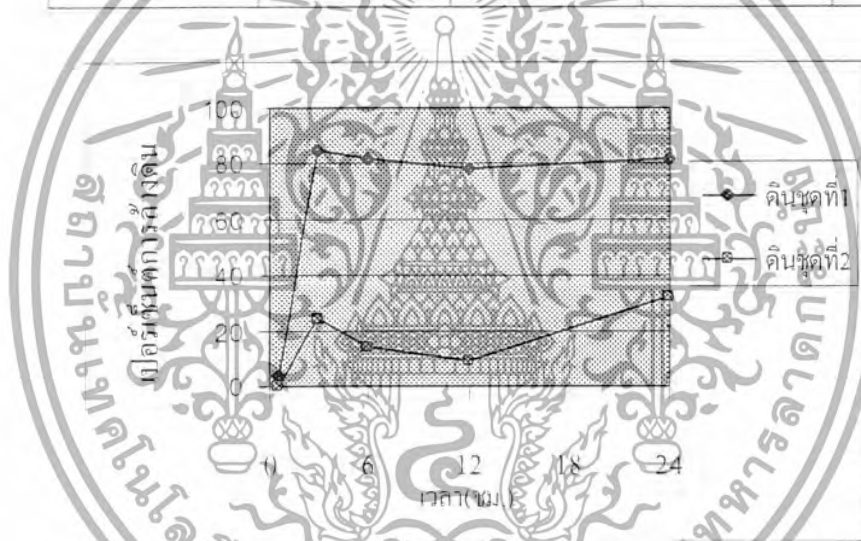
พบว่า เมื่อปริมาณน้ำกลั่นเพิ่มขึ้น ปริมาณโครเมียมที่หลุดออกมาจากดิน มีค่าไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งอาจสรุปได้ว่าปริมาณน้ำไม่มีผลต่อการล้างดิน การล้างดินอาจขึ้นกับปัจจัยตัวอื่นๆ เช่น ค่าพีเอช เวลาในการล้างดิน ซึ่งจะทำการศึกษาต่อไป

4.5 การหาเวลาที่เหมาะสมในการล้างดินด้วยน้ำกลั่น

จากการทดลองหัวข้อ 4.4 พบว่า ปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ไม่มีผลต่อการล้างดิน จึงเลือกใช้ปริมาณน้ำ 10 มิลลิลิตร ในการหาเวลาที่เหมาะสม ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการหาเวลาที่เหมาะสมในการล้างดิน

เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	ปริมาณโครเมียมเฉลี่ยในดินที่วิเคราะห์ได้ (มก./ก.)			
	ดินชุดที่ 1 (n=3)		ดินชุดที่ 2 (n=3)	
	ก่อนล้าง	หลังล้าง	ก่อนล้าง	หลังล้าง
0.5	0.129±0.038	0.124±0.030	0.103±0.012	0.103±0.014
3	0.129±0.038	0.020±0.003	0.103±0.012	0.080±0.012
6	0.129±0.038	0.024±0.003	0.103±0.012	0.089±0.004
12	0.129±0.038	0.029±0.003	0.103±0.012	0.094±0.005
24	0.129±0.038	0.024±0.005	0.103±0.012	0.070±0.007



รูปที่ 4.2 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมในการล้างดิน

พบว่า เมื่อมีการเพิ่มเวลาจาก 0.5 เป็น 3 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การล้างดินเพิ่มขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัดเจนคือ ดินชุดที่ 1 เปอร์เซ็นต์การล้างดิน เท่ากับ 4 และ 85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนชุดที่ 2 เปอร์เซ็นต์การล้างดิน เท่ากับ 0 และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะเห็นว่า เปอร์เซ็นต์การล้างดินไม่แตกต่างกันมาก คือ ที่เวลา 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ในดินชุดที่ 1 เปอร์เซ็นต์การล้างดิน เท่ากับ 82, 78 และ 82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในดินชุดที่ 2 เปอร์เซ็นต์การล้างดิน เท่ากับ 14, 9 และ 32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ดังนั้นเลือกใช้เวลาที่เหมาะสมในการล้างดินที่ 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การหาพีเอชที่เหมาะสมของน้ำในการล้างดิน

จากการทดลองหัวข้อ 4.5 พบว่า เวลาที่เหมาะสมในการล้างดินควรใช้เวลา 3 ชั่วโมง การทดลองต่อมาคือ การหาพีเอชที่เหมาะสมของน้ำในการล้างดิน ทดลองโดยใช้เวลาในการล้างดิน 3 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการหาพีเอชที่เหมาะสมในการล้างดิน

พีเอช ของน้ำ กลั่น	ปริมาณโครเมียมเฉลี่ยในดินที่วิเคราะห์ได้ (มก./ก.)			
	ดินชุดที่ 1 (n = 3)		ดินชุดที่ 2 (n = 3)	
	ก่อนล้าง	หลังล้าง	ก่อนล้าง	หลังล้าง
2	0.129±0.038	0.014±0.003	0.103±0.012	0.048±0.020
4	0.129±0.038	0.017±0.007	0.103±0.012	0.053±0.006
8	0.129±0.038	0.024±0.002	0.103±0.012	0.080±0.016
10	0.129±0.038	0.030±0.002	0.103±0.012	0.072±0.033



รูปที่ 4.3 แสดงผลของพีเอชของน้ำกลั่นที่ใช้ในการล้างดิน

พบว่า เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ในการล้างดินจะลดลง ซึ่งที่พีเอช 2 มีเปอร์เซ็นต์การล้างดินในดินชุดที่ 1 และ 2 เท่ากับ 89 และ 53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่พีเอช 4 , 8 , 10 ในดินชุดที่ 1 เปอร์เซ็นต์การล้างดิน เท่ากับ 87 , 81 และ 77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในดินชุดที่ 2 เปอร์เซ็นต์การล้างดิน เท่ากับ 49 , 24 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้พีเอชของน้ำกลั่นที่เหมาะสมจะเลือกใช้ที่พีเอชเท่ากับ 2 ในการล้างดิน เนื่องจากที่สภาวะพีเอชเท่ากับ 2 โครเมียมสามารถละลายน้ำได้ และเคลื่อนที่ได้ดี ดังนั้นเมื่อล้างดินด้วยน้ำกลั่น พบว่า มีโครเมียมออกมามาก เปอร์เซ็นต์การล้างดิน สูงกว่าที่พีเอช 4 , 6 , 8 และ 10 ซึ่งโครเมียมเริ่มตกตะกอน ทำให้การล้างโครเมียมจากดินทำได้ยาก

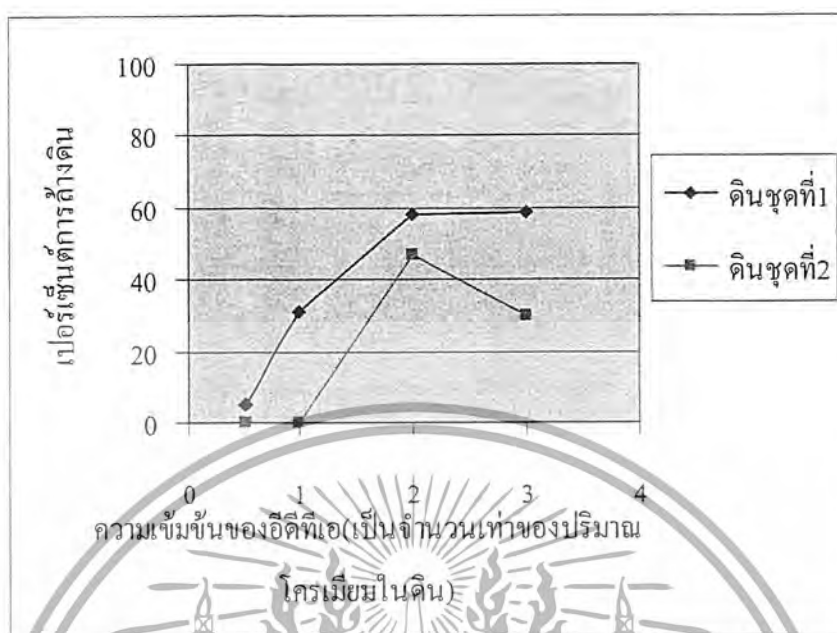
4.7 การล้างโครเมียมออกจากดินด้วยสารละลายอิตีทีเอ

นำสารละลายอิตีทีเอที่ความเข้มข้นต่างๆ มาใช้ล้างดินแทนน้ำกลั่น ซึ่งจากผลการทดลองตามหัวข้อ 4.4 และ 4.5 จึงเลือกใช้ปริมาณสารละลายอิตีทีเอ 10 มิลลิลิตร และเวลา 3 ชั่วโมง ในการทดลองล้างดิน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการหาปริมาณสารละลายอิตีทีเอที่เหมาะสมในการล้างดิน

ปริมาณอิตีทีเอที่ใช้ (เป็นจำนวนเท่าของ ปริมาณโครเมียม ในดิน)	ปริมาณ โครเมียมเฉลี่ยในดินที่วิเคราะห์ได้ (มก./ ก)			
	ดินชุดที่ 1 (n = 3)		ดินชุดที่ 2 (n = 3)	
	ก่อนล้าง	หลังล้าง	ก่อนล้าง	หลังล้าง
0.5	0.129±0.038	0.123±0.010	0.103±0.012	0.110±0.009
1	0.129±0.038	0.089±0.034	0.103±0.012	0.104±0.027
2	0.129±0.038	0.054±0.007	0.103±0.012	0.068±0.018
3	0.129±0.038	0.053±0.003	0.103±0.012	0.072±0.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงผลของปริมาณอีดิตีเอที่เหมาะสมในการล้างดิน

พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายอีดิตีเอเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การล้างดินจะเพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้น 2 เท่า ล้างดินได้ใกล้เคียงกับ 3 เท่า คือ ความเข้มข้น 2 และ 3 เท่า ล้างดินชุดที่ 1 ได้ 58 และ 59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 2 และ 3 เท่า ล้างดินชุดที่ 2 ได้ 47 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากอีดิตีเอ สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโครเมียมในดิน จึงทำให้ล้างโครเมียมออกจากดินได้ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของอีดิตีเอ (เป็นจำนวนเท่าของปริมาณโครเมียมในดิน) พบว่าเปอร์เซ็นต์การล้างดินเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้มากขึ้น แต่จะค่อยๆ ลดลง หรือคงที่ เมื่อถึงความเข้มข้นอีดิตีเอเป็น 2 เท่า ของปริมาณโครเมียมในดิน

4.8 การหาพีเอชของสารละลายอีดิตีเอที่เหมาะสม

จากการทดลอง หัวข้อ 4.7 ปริมาณอีดิตีเอที่เหมาะสมคือเลือกความเข้มข้นของสารละลายอีดิตีเอเป็น 2 เท่าของปริมาณโครเมียมในดิน ทำการทดลองต่อโดยนำมาหาพีเอชของสารละลายอีดิตีเอที่เหมาะสม ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการหาพีเอชที่เหมาะสมของสารละลายอิตีทีเอในการล้างดิน

พีเอชของ สารละลายอิตีทีเอ	ปริมาณโครเมียมเฉลี่ยในดินที่วิเคราะห์ได้ (มก./ก)			
	ดินชุดที่ 1 (n = 3)		ดินชุดที่ 2 (n = 3)	
	ก่อนล้าง	หลังล้าง	ก่อนล้าง	หลังล้าง
2	0.129±0.038	0.041±0.114	0.103±0.012	0.081±0.004
4	0.129±0.038	0.050±0.002	0.103±0.012	0.086±0.003
6	0.129±0.038	0.051±0.001	0.103±0.012	0.094±0.002
8	0.129±0.038	0.055±0.007	0.103±0.012	0.103±0.002
10	0.129±0.038	0.061±0.002	0.103±0.012	0.102±0.004



รูปที่ 4.5 แสดงผลการหาพีเอชที่เหมาะสมของสารละลายอิตีทีเอในการล้างดิน

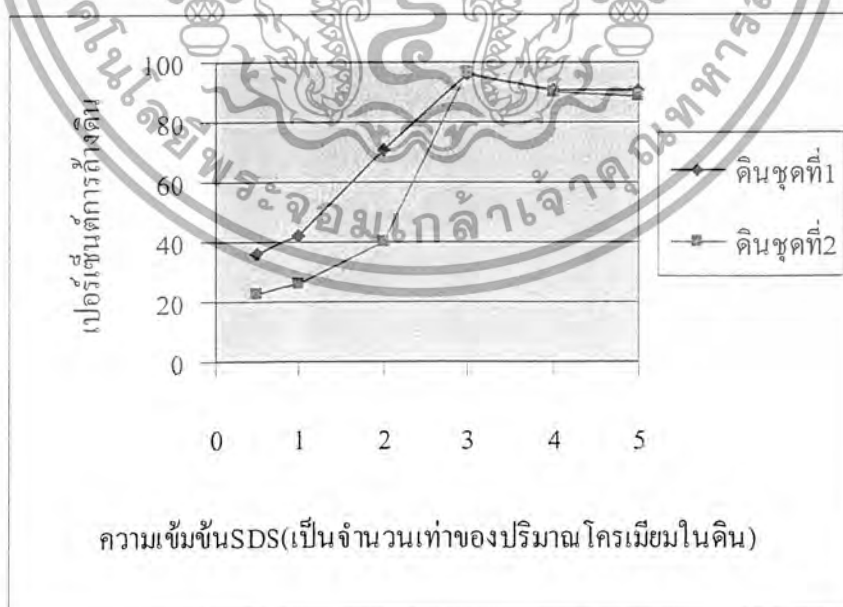
พบว่า สารละลายอิตีทีเอที่มีความเข้มข้นเป็น 2 เท่าของปริมาณโครเมียมในดินที่พีเอช 2 สามารถล้างดินได้มากที่สุด โดยเปอร์เซ็นต์การล้างดินในดินชุดที่ 1 และ ดินชุดที่ 2 เท่ากับ 68 และ 21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่พีเอช 4, 6, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์การล้างดิน เท่ากับ 61, 60, 57 และ 53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนดินชุดที่ 2 เปอร์เซ็นต์การล้างดิน เท่ากับ 17, 9, 0 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากที่สภาวะพีเอชเท่ากับ 2 โครเมียมสามารถละลายน้ำได้ และเคลื่อนที่ได้ดี ดังนั้นเมื่อล้างดินด้วยอิตีทีเอ พบว่า มีโครเมียมออกมามาก เปอร์เซ็นต์การล้างดิน สูงกว่าที่พีเอช 4, 6, 8 และ 10 ซึ่งโครเมียมเริ่มตกตะกอน ทำให้การล้างโครเมียมจากดินทำได้ยาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 การล้างโครเมียมออกจากดินด้วยสารละลายโซเดียมโคดีซิลซัลเฟต (SDS)

นำสารละลายโซเดียมโคดีซิลซัลเฟตที่มีความเข้มข้นต่างๆ มาใช้ล้างดินแทนน้ำกลั่น ซึ่งจากผลการทดลองหัวข้อ 4.4 และ 4.5 จึงเลือกปริมาณสารละลายโซเดียมโคดีซิลซัลเฟต 10 มิลลิลิตร และเวลา 3 ชั่วโมง ในการล้างดิน

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการหาปริมาณโครเมียมโคดีซิลซัลเฟตที่เหมาะสมในการล้างดิน

ปริมาณ SDS ที่ใช้ (เป็นจำนวนเท่า ของปริมาณ โครเมียมในดิน)	ปริมาณโครเมียมเฉลี่ยในดินที่วิเคราะห์ได้ (มก./ก.)			
	ดินชุดที่ 1 (n = 3)		ดินชุดที่ 2 (n = 3)	
	ก่อนล้าง	หลังล้าง	ก่อนล้าง	หลังล้าง
0.5	0.129±0.038	0.082±0.005	0.103±0.012	0.079±0.011
1	0.129±0.038	0.075±0.018	0.103±0.012	0.076±0.008
2	0.129±0.038	0.038±0.002	0.103±0.012	0.062±0.011
3	0.129±0.038	0.005±0.000	0.103±0.012	0.003±0.001
4	0.129±0.038	0.011±0.003	0.103±0.012	0.010±0.000
5	0.129±0.038	0.012±0.003	0.103±0.012	0.011±0.005



รูปที่ 4.6 แสดงผลของการหาปริมาณโครเมียมโคดีซิลซัลเฟตที่เหมาะสมในการล้างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมโคคิซิลซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นจะสามารถล้างโครเมียมได้ดีขึ้น จนถึงจุดๆหนึ่งและค่อยๆลดลง โดยความเข้มข้นที่ดีที่สุดที่สามารถกำจัดโครเมียมได้ คือ ความเข้มข้นเป็น 3 เท่าของปริมาณโครเมียมในดิน คือ ล้างโครเมียมในดินชุดที่ 1 ชุดที่ 2 ออกมาได้ถึง 96 และ 97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เหตุผลที่สารละลายอีดีทีเอ สามารถล้างโครเมียมออกจากดินได้น้อยกว่าสารละลายโซเดียมโคคิซิลซัลเฟต เนื่องจากสารละลายอีดีทีเอ เป็นสารคีเลตดึงเอเจนต์ที่ไม่จำเพาะเจาะจงในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะแต่ละชนิด จึงอาจเป็นไปได้ว่าสารละลายอีดีทีเอ อาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะที่อยู่ในดินตัวอื่นที่ไม่ใช่โครเมียม จึงทำให้ประสิทธิภาพในการล้างดินลดลง เมื่อเทียบกับการล้างดินด้วยสารละลายโซเดียมโคคิซิลซัลเฟต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ได้ทำการศึกษาการกำจัด โครเมียมที่เหลืออยู่ในดินที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 0.1

มิลลิกรัมต่อกรัมดินแห้ง โดย

- การล้าง โครเมียมออกจากดิน โดยการใช้น้ำกลั่น 10, 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร
- การหาเวลาที่เหมาะสมในการล้างดิน โดยเลือกใช้เวลา 0.5, 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง
- การหาพีเอช ที่เหมาะสมของน้ำในการล้างดิน โดยการใช้น้ำพีเอช 2, 4, 6, 8 และ 10 ตามลำดับ
- การล้าง โครเมียมออกจากดินด้วยสารละลายอิดีทีเอที ปริมาณและพีเอชที่เหมาะสม
- การล้าง โครเมียมออกจากดินด้วยสารละลายโซเดียม โดดิซิลซัลเฟต ที่ปริมาณที่เหมาะสม

จากการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. การล้างโครเมียมออกจากดินพบว่า เมื่อทดลองโดยใช้ปริมาณน้ำกลั่นเพิ่มขึ้นคือ 10, 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การล้างดินมีค่าไม่แตกต่างกัน จึงอาจสรุปได้ว่าปริมาณน้ำไม่มีผลต่อการล้างดิน ส่วนในการหาเวลาที่เหมาะสมในการล้างดินนั้นเมื่อใช้เวลาในการล้าง 30 นาทีที่เวลา 3 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การล้างดินมีการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด หลังจากนั้นถ้าใช้เวลา 6, 12 และ 24 ชั่วโมง จะให้เปอร์เซ็นต์การล้างดินใกล้เคียงกับการใช้เวลา 3 ชั่วโมง และในการหาพีเอช ที่เหมาะสมของน้ำกลั่นในการล้างดินโดยการปรับพีเอชของน้ำกลั่นเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 ตามลำดับพบว่าที่พีเอช 2 จะให้เปอร์เซ็นต์การล้างดินได้มากที่สุด

2. การล้างโครเมียมออกจากดินด้วยสารละลายอิดีทีเอที ปริมาณและพีเอชที่เหมาะสมพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายอิดีทีเอทีเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การล้างดินจะเพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของอิดีทีเอทีเป็น 2 เท่าของปริมาณโครเมียมในดินจะมีเปอร์เซ็นต์การล้างโครเมียมออกจากดินได้มากที่สุด และสภาวะพีเอชที่ล้างโครเมียมออกจากดินได้มากที่สุด คือ ที่พีเอช 2

3. การล้างโครเมียมออกจากดินด้วยสารละลายโซเดียม โดดิซิลซัลเฟต พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการล้างดินจะใช้สารละลายโซเดียม โดดิซิลซัลเฟต ที่ความเข้มข้นเป็น 3 เท่าของปริมาณโครเมียมในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการล้างดิน โดยให้สารที่ใช้ชะล้างไหลผ่านดินอย่างต่อเนื่อง
2. ศึกษาการล้างดินด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโคเนติกส์เปรียบเทียบกับการบำบัดดินวิธีเดิม
3. ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการล้างดินแต่ละวิธี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2525. สารานุกรมธาตุ. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์
- พรสุดา ชุนห์ลือชานนท์ และ สุวภัทร์ อภัยสุวรรณ. 2545. การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยพืชใบเลี้ยงคู่. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- B. Thirumalai Nivas. 1996. **Surfactant Enhance Remediation of Subsurface Chromium Contamination**. *Wat.Res.vol.30, No. 3, pp. 511-520,*
- Baker, A.J.M., Reeves, R.D., McGrath, S.P., 1991. **In situ decontamination of heavy metal polluted soils using crops of metalaccumulating plants: A feasibility study**. In: Hinchey, R.E.,Offenbach, R.F., (Eds.), *In Situ Bioreclamation*. Butterworth Heinemann, Boston, pp. 601-605.
- Conner, J.R., 1990. **Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes**. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Evanko, C.R., Dzombak, D.A., 1997. **Remediation of metals-contaminated soils and groundwater**. Technology Evaluation Report, TE-97-01. Ground-water Remediation Technologies Analysis Center, Pittsburgh, PA.
- Hazardous Waste Consultant, 1996. **Remediating Soil and Sediment Contaminated with Heavy Metals**, Nov/Dec. Elsevier Science, Netherlands.
- Hinsenveld, M., Soczo, E.R., van de Leur, G.J., Versluijs, C.W., Groenedijk, E., 1990. **Alternative physico-chemical and thermal cleaning technologies for contaminated soil**. In: Arendt, F., Hinsenveld, M., van der Brink (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Contaminated Soils '90* . Kluwer Academic, Dordrecht, pp. 873-881.
- Mulligan C.N. , R.N. Yong , B.F. Gibbs.2000. **Remediation Technologies for Metal-Contaminated Soil and Groundwater : an Evaluation**. *Engineering Geology* 60. 193-207
- Robins, R.G., 1992. **Arsenic chemistry in relation to the disposal and stability of metallurgical wastes**. Arsenic and Mercury-Workshop on Removal, Recovery, Treatment and Disposal, Alexandria, Virginia, August 17-20, pp. 4-7, EPA/600/R-92/105. Office of Research and Development, Washington, D.C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Smith, L.A., Means, J.L., Chen, A., Alleman, B., Chapma, C.C., Tixier Jr., J.S., Brauning, S.E., Gavaskar, A.R., Royer, M.d., 1995. **Remedial Option for Metals-Contaminated Sites.** Lewis, Boca Raton, FL.
- Thirumalai Nivas B. , 1996. **Surfactant Enhance Remediation of Subsurface Chromium Contamination.** Wat.Res.vol.30, No. 3, pp. 511-520
- Vidac, R.D., Pohland, F.G., 1996. **Treatment Walls.** Technology Evaluation Report TE-96-01, Groundwater Remediation Technologies Analysis Center, Pittsburgh, P.A.
- Zhongming Li , Ji-Wei Yu , Ivars Neretnieks. 1997. **Removal of Pb(II), Cd(II), and Cr(III) from Sand by Electromigration.** Journal of Hazardous Materials 55. 295-304



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การเตรียมสารละลายสต็อกโครเมียม 1000 พีพีเอ็ม

-คำนวณหาปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ดังนี้

น้ำหนักโมเลกุลของ $K_2Cr_2O_7$ เท่ากับ 294

โดยมี

K	2	อะตอม	=	2×39	=	78
Cr	2	อะตอม	=	2×52	=	104
O	7	อะตอม	=	7×16	=	112

Cr 104 กรัม อยู่ใน $K_2Cr_2O_7$ 294 กรัม

Cr 1 กรัม อยู่ใน $K_2Cr_2O_7$ $\frac{294 \times 1}{104} = 2.827$ กรัม

จะได้ปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ 2.827 กรัม ละลายลงในน้ำ 1000 มิลลิลิตร

การเตรียมดินที่มีโครเมียมปนเปื้อน 100 พีพีเอ็มต่อดิน 10 กรัม

เปิดสารละลายสต็อกโครเมียมเข้มข้น 1000 พีพีเอ็มมา 1 มิลลิลิตร
ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
จะได้สารละลายโครเมียมเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม

นำสารละลายโครเมียมเข้มข้น 100 พีพีเอ็มมา 10 มิลลิลิตร
แล้วเทลงไปในบีกเกอร์ ซึ่งมีดินหนัก 10 กรัม

คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วตากแดดนาน 7 วัน

จะได้ดินที่มีโครเมียมปนเปื้อน 100 พีพีเอ็มต่อดิน 10 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม

1. การย่อยดินด้วยเครื่องมือโครเวฟไมโครเวฟไคเอสชัน

รายละเอียดของการใช้กรดย่อยตัวอย่างดินในภาชนะปิดที่ใส่ตัวอย่างเตรียมไว้ สำหรับเครื่องมือโครเวฟ

เครื่องมือ

เครื่องมือโครเวฟ รุ่น MLS 1200 MEGA

สารเคมี

1. HNO₃ 65% 3.0 ml
2. HF 40% 3.0 ml

วิธีดำเนินการ

1. ชั่งดินตัวอย่าง 0.25 กรัม ใส่ใน TFM vessel ขนาด 150 ml
2. ใส่ TFM vessel ลงใน HTC Safety Shield
3. ใส่สารเคมีลงไปตามจำนวนข้างต้น ถ้าส่วนของตัวอย่างเกาะอยู่ที่ผิวของ vessel ทำการหยดกรดลงไปบริเวณนั้น
4. ปิด vessie และใส่เข้าไปในส่วนที่ใช้หมุน (rotor segment) ทำการหมุนล็อกให้แน่น
5. ใส่ segment ส่วนที่ใช้ประกอบเครื่อง เข้าไปในเครื่องมือโครเวฟ และต่อเข้าเครื่องวัด

อุณหภูมิ

6. ทำการเปิดเครื่องให้เครื่องทำตามโปรแกรมที่ตั้งไว้จนเสร็จสมบูรณ์
7. นำ segment มาหล่อเย็นด้วยน้ำ จนกระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิเกือบเท่าอุณหภูมิห้อง
8. เปิด vessel ทำการถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร
9. ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องไมโครเวฟ รุ่น MLS 1200 MEGA

สารเคมี

1. HNO₃ 65% 3.0 ml
2. HF 40% 3.0 ml

วิธีดำเนินการ

1. ชั่งดินตัวอย่าง 0.25 กรัม ใส่ใน TFM vessel ขนาด 150 ml
2. ใส่น้ำ TFM vessel ลงใน HTC Safety Shield
3. ใส่น้ำสารเคมีลงไปตามจำนวนข้างต้น ถัดส่วนของตัวอย่างเกาะอยู่ที่ผิวของ vessel ทำการหยดกรดลงไปบริเวณนั้น
4. เปิด vessel และใส่เข้าไปในส่วนที่ใช้หมุน (rotor segment) ทำการหมุนล็อคให้แน่น
5. ใส่น้ำ segment ตัวอื่นที่ใช้ประกอบเครื่อง เข้าไปในเครื่องไมโครเวฟ และต่อเข้าเครื่องวัดอุณหภูมิ
6. ทำการเปิดเครื่องให้เครื่องทำตามโปรแกรมที่ตั้งไว้จนเสร็จสมบูรณ์
7. นำ segment มาหล่อเย็นด้วยน้ำ จนกระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิเกือบเท่าอุณหภูมิห้อง
8. เปิด vessel ทำการถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร
9. ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การเตรียมสารละลายอีดีทีเอและสารละลายโซเดียมโคดีซิลซัลเฟต

1. การเตรียมสารละลายอีดีทีเอ

สูตรเคมี $[\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})\text{CH}_2\text{COONa}]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$

น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 349

การหาจำนวน โมลโครเมียมในดิน

ปริมาณโครเมียมในดิน 100 พีพีเอ็ม เท่ากับ 100 mg / 1

จาก โมล $\frac{=}{=}$ น้ำหนัก (กรัม) $\frac{=}{=}$ 0.0019 mol Cr
 น้ำหนักโมเลกุล $\frac{=}{=}$ 349

ตัวอย่างการหาปริมาณ EDTA ที่ใช้

การเตรียมสารละลาย EDTA 1 เท่าของปริมาณโครเมียมในดิน

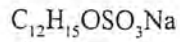
จาก โมล $\frac{=}{=}$ น้ำหนัก (กรัม) $\frac{=}{=}$ 0.6631 กรัม
 น้ำหนักโมเลกุล $\frac{=}{=}$ 349
 น้ำหนักของ EDTA $\frac{=}{=}$ 0.6631 กรัม

จะได้ปริมาณ EDTA 0.6631 กรัม ละลายในน้ำ 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเตรียมสารละลายโซเดียมโดดีซิลซัลเฟต (SDS)

สูตรเคมี



น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 288.4

ตัวอย่างการหาปริมาณ SDS ที่ใช้

การเตรียมสารละลาย SDS 1 เท่าของปริมาณโครเมียมในดิน

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{โมล} &= \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}} \\ 0.0019 &= \frac{\text{น้ำหนักของ SDS (กรัม)}}{288.4} \\ \text{น้ำหนักของ SDS} &= 0.548 \text{ กรัม} \\ \text{จะได้ปริมาณ SDS } 0.548 \text{ กรัม} &\text{ ละลายในน้ำ } 1 \text{ ลิตร} \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ตารางแสดงปริมาณโครเมียมในดินของพรสุดาและคณะ (2545)

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0761x + 0.0065$

ตัวอย่างดิน	น้ำหนักดินที่ชั่ง (กรัม)	ABS	ปริมาณโครเมียม ที่วิเคราะห์ได้ (มก./ก.)
ตัวอย่างที่ 1	0.2538	-0.014	-
	0.2758	-0.007	-
	0.2502	-0.013	-
	0.2490	0.002	-
ตัวอย่างที่ 2	0.2547	-0.011	-
	0.2506	-0.004	-
	0.2540	-0.004	-
	0.2510	0.001	-
ตัวอย่างที่ 3	0.2549	0.008	-
	0.2503	-0.002	-
	0.2523	0.006	-
	0.2528	0.005	-
ตัวอย่างที่ 4	0.2542	0.184	0.092
	0.2539	0.184	0.092
	0.2515	0.204	0.103
	0.2541	0.128	0.063
ตัวอย่างที่ 5	0.2518	0.189	0.095
	0.2562	0.194	0.096
	0.2550	0.017	-
	0.2491	0.441	0.229
ตัวอย่างที่ 6	0.2566	1.559	0.795
	0.2530	1.154	0.596
	0.2541	0.529	0.270
	0.2602	0.268	0.132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

ดินตัวอย่างที่ 4 : น้ำหนักดินที่ชั่ง 0.2542 กรัม

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง เท่ากับ $y = 0.0761x + 0.0065$

โดยค่า y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

x คือ ค่าความเข้มข้น (mg/l)

แทนค่า $y = 0.184$ ลงในสมการ ได้ค่าความเข้มข้นของโครเมียม = 2.33 mg/l

ในสารละลาย 1000 ml มีโครเมียม = 2.33 mg

สารละลาย 10 ml มีโครเมียม = $2.33 \times 10 = 0.0233$ mg

ในดิน 0.2542 กรัม มีโครเมียม = $\frac{0.0233}{1000} \times 0.2542$ mg

ดิน 1 กรัม มีโครเมียม = $\frac{0.0233 \times 1}{0.2542} = 0.092$ mg

∴ พบโครเมียมในดิน เท่ากับ 0.092 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กรัม

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมในดินที่มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไป

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0142x - 0.0061$

ปริมาณโครเมียมที่เติมลงไป		น้ำหนักดินที่ชั่ง (กรัม)	ABS	ปริมาณโครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้ (มก./ก.)
พีพีเอ็ม	มก./ก.			
100	0.10	0.2555	0.030	0.099
150	0.15	0.2558	0.053	0.273
200	0.20	0.2570	0.081	0.239

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมในดินที่มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไป
100 พีพีเอ็ม (0.1 มก. / กรัม)

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0439x - 0.0013$

น้ำหนักดินที่ชั่ง (กรัม)	ABS	ปริมาณโครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
0.2492	0.100	0.093
0.2555	0.030	0.099
0.2658	0.090	0.117
0.2505	0.083	0.115
0.2685	0.083	0.107
0.216	0.095	0.087

ตารางแสดงผลการหาปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ในการล้างดินในดินชุดที่ 1

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0289x - 0.0001$

ปริมาณน้ำที่ใช้ (ml)	น.ดินที่ชั่ง (g)	ABS	ปริมาณโครเมียมในดิน ที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
10	0.2752	0.095	0.120
	0.2508	0.112	0.155
	0.2673	0.074	0.096
25	0.2554	0.110	0.149
	0.2619	0.104	0.138
	0.2455	0.075	0.106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการหาปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ในการล้างดินในดินชุดที่ 1 (ต่อ)

50	0.2515	0.099	0.136
	0.2567	0.071	0.096
	0.2571	0.113	0.152
100	0.2666	0.113	0.147
	0.2650	0.099	0.129
	0.2515	0.065	0.090

ตารางแสดงผลการหาปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ในการล้างดินในดินชุดที่ 2

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0289x - 0.0001$

ปริมาณน้ำที่ใช้ (ml)	นน.ดินที่ชั่ง (g)	ABS	ปริมาณโครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
10	0.2637	0.059	0.078
	0.2544	0.073	0.100
	0.2796	0.085	0.105
25	0.2568	0.086	0.116
	0.2664	0.081	0.105
	0.2705	0.071	0.090
50	0.2607	0.078	0.104
	0.2575	0.085	0.115
	0.2589	0.079	0.106
100	0.2543	0.072	0.098
	0.2674	0.083	0.108
	0.2756	0.081	0.102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการหาเวลาที่เหมาะสมในการล้างดินในดินชุดที่ 1

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0255x + 0.0155$

เวลาที่ใช้ (hr)	นน.ดินที่ซั่ง (g)	ABS	ปริมาณโครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
3	0.2460	0.030	0.023
	0.2619	0.029	0.020
	0.2544	0.027	0.018
6	0.2549	0.034	0.028
	0.2565	0.030	0.022
	0.2496	0.029	0.022
12	0.2496	0.035	0.031
	0.2527	0.035	0.030
	0.2594	0.032	0.025
24	0.2592	0.034	0.028
	0.2556	0.028	0.019
	0.2615	0.032	0.025

ตารางแสดงผลการหาเวลาที่เหมาะสมในการล้างดินในดินชุดที่ 2

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0255x + 0.0155$

เวลาที่ใช้ (hr)	นน.ดินที่ซั่ง (g)	ABS	ปริมาณโครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
3	0.2688	0.069	0.078
	0.2631	0.062	0.069
	0.2496	0.074	0.092
6	0.2532	0.073	0.089
	0.2651	0.073	0.085
	0.2520	0.075	0.093
12	0.2584	0.079	0.096
	0.2644	0.075	0.088

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการหาเวลาที่เหมาะสมในการล้างดินในดินชุดที่ 2 (ต่อ)

24	0.2544	0.056	0.062
	0.2677	0.066	0.074
	0.2555	0.064	0.074

ตารางแสดงผลการหาพีเอชที่เหมาะสมในการล้างดินในดินชุดที่ 1

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0156x - 0.0023$

พีเอชที่ใช้	นน.ดินที่ชั่ง (g)	ABS	ปริมาณโครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
2	0.2550	0.002	0.011
	0.2500	0.004	0.016
	0.2532	0.003	0.013
4	0.2626	0.004	0.015
	0.2766	0.008	0.024
	0.2594	0.002	0.011
8	0.2607	0.007	0.023
	-	-	-
	0.2583	0.008	0.026
10	0.2616	0.009	0.028
	0.2608	0.010	0.030
	0.2523	0.010	0.031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการหาพีเอชที่เหมาะสมในการล้างดินในดินชุดที่ 2

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0156x - 0.0023$

พีเอชที่ใช้	นน.ดินที่ซั่ง (g)	ABS	ปริมาณ โครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
2	0.2706	0.022	0.058
	0.2519	0.021	0.059
	0.2650	0.009	0.027
4	0.2561	0.020	0.056
	0.2547	0.016	0.046
	0.2562	0.021	0.058
8	0.2504	0.036	0.098
	0.2489	0.024	0.068
	0.2559	0.027	0.073
10	0.2606	0.036	0.094
	0.2560	0.011	0.033
	0.2510	0.032	0.088

ตารางแสดงผลการหาปริมาณสารละลายอีดีทีเอที่เหมาะสมในการล้างดินในดินชุดที่ 1

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0128x + 0.0075$

ปริมาณEDTA (เท่า)	นน.ดินที่ซั่ง (g)	ABS	ปริมาณ โครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
0.5	0.2561	0.051	0.132
	0.2575	0.049	0.125
	0.2660	0.046	0.113
1	0.2519	0.049	0.128
	0.2538	0.031	0.072
	0.2700	0.031	0.068
2	0.2457	0.023	0.049
	0.2517	0.024	0.051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการหาปริมาณสารละลายอิตีทีเอที่เหมาะสมในการล้างดินในดินชุดที่ 1(ต่อ)

	0.2560	0.028	0.062
3	0.2498	0.025	0.055
	0.2566	0.024	0.049
	0.2481	0.025	0.055

ตารางแสดงผลการหาปริมาณสารละลายอิตีทีเอที่เหมาะสมในการล้างดินในดินชุดที่ 2

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0128x + 0.0077$

ปริมาณEDTA (เท่า)	นน.ดินที่ชั่ง(g)	ABS	ปริมาณ โครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
0.5	0.2520	0.044	0.113
	0.2536	0.040	0.099
	0.2532	0.046	0.118
1	0.2609	0.047	0.118
	0.2516	0.047	0.122
	0.2589	0.032	0.073
2	0.2522	0.032	0.075
	0.2520	0.034	0.082
	0.2529	0.023	0.048
3	0.2558	0.033	0.076
	0.2546	0.030	0.069
	0.2486	0.030	0.071

ตารางแสดงผลการหาพีเอชที่เหมาะสมของสารละลายอิตีทีเอในการล้างดินในดินชุดที่ 1

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0193 x - 0.0069$

พีเอชที่ใช้	นน.ดินที่ชั่ง (g)	ABS	ปริมาณ โครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
2	0.2491	0.015	0.046
	0.2575	0.007	0.028
	0.2545	0.017	0.049

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการหาพีเอชที่เหมาะสมของสารละลายอิตีทีเอในการล้างดินในดินชุดที่ 1 (ต่อ)

4	0.2508	0.018	0.051
	0.2524	0.018	0.051
	0.2591	0.017	0.048
6	0.2608	0.019	0.052
	0.2505	-	-
	0.2534	0.018	0.051
8	0.2616	0.023	0.059
	0.2504	0.016	0.047
	0.2506	0.021	0.058
10	0.2552	0.023	0.061
	0.2603	0.024	0.062
	0.2611	0.023	0.059

ตารางแสดงผลการหาพีเอชที่เหมาะสมของสารละลายอิตีทีเอในการล้างดินในดินชุดที่ 2 จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง $y = 0.0193x + 0.0069$

พีเอชที่ใช้	นน.ดินที่ซั่ง (g)	ABS	ปริมาณ โครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
2	0.2525	0.031	0.078
	0.2549	0.035	0.085
	0.2587	0.033	0.080
4	0.2580	0.037	0.088
	0.2515	0.033	0.082
	0.2509	0.035	0.087
6	0.2540	0.038	0.092
	0.2553	0.040	0.095
	0.2503	0.039	0.095
8	0.2630	0.044	0.100
	0.2525	0.044	0.104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการหาพีเอชที่เหมาะสมของสารละลายอีดีทีเอในการล้างดินในดินชุดที่ 2(ต่อ)

	0.2550	0.041	0.103
10	0.2528	0.044	0.104
	0.2496	0.040	0.097
	0.2616	0.045	0.103

ตารางแสดงผลการหาปริมาณ โซเดียม โดดีซิลซัลเฟตที่เหมาะสมในการล้างดินในดินชุดที่ 1

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0176x + 0.0219$

ปริมาณ SDS (เท่า)	นน.ดินที่ซั่ง (g)	ABS	ปริมาณ โครเมียมในดิน ที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
0.5	0.2503	0.061	0.088
	0.2557	0.057	0.079
	0.2506	0.057	0.079
	0.2510	0.050	0.063
	0.2539	0.051	0.066
1	0.2456	0.063	0.096
	0.2528	0.039	0.039
	0.2559	0.039	0.039
	0.2608	0.038	0.036
3	0.2576	0.024	0.005
	0.2610	0.024	0.005
	0.2528	0.024	0.005
4	0.2521	0.029	0.015
	0.2496	0.026	0.010
	0.2628	0.026	0.008
5	0.2491	0.026	0.009
	0.2612	0.028	0.013
	0.2517	0.028	0.014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการหาปริมาณ โครเมียม โคคิซิลซัลเฟตที่เหมาะสมในการล้างดินในดินชุดที่ 2

จากกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0176x + 0.0219$

ปริมาณ SDS (เท่า)	นน.ดินที่ซั่ง (g)	ABS	ปริมาณโครเมียมในดินที่วิเคราะห์ได้ (mg/g)
0.5	0.2519	0.057	0.077
	0.2666	0.065	0.091
	0.2510	0.054	0.070
1	0.2594	0.061	0.084
	0.2629	0.054	0.069
	0.2596	0.057	0.075
2	0.2679	0.053	0.063
	0.2542	0.055	0.071
	0.2554	0.046	0.050
3	0.2491	0.018	0.002
	0.2644	0.015	-
	0.2611	0.020	0.004
4	0.2513	0.026	0.010
	0.2503	0.025	0.010
	0.2534	0.009	-
5	0.2507	0.023	0.007
	0.2622	0.031	0.016
	0.2502	0.026	0.011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้