

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้สารละลายโซเดียมอิตีทีเอ



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62047
วัน,เดือน,ปี 27 ก.ค. 2549



โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ



โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WASHING OF METAL CONTAMINATED SOIL BY SODIUM EDTA SOLUTION



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 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้สารละลายโซเดียมอิตีทีเอ

นักศึกษา นายคมสรร์ ศิริติกุล
นางสาวปนัดดา รุจะศิริ
ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ. พรรษาวรรณ ตันทวี	
กรรมการ	ดร. อุตารัตน์	
กรรมการ	ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์	


.....
(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้สารละลายโซเดียมอิตีทีเอ	
นักศึกษา	นายคมสรร์ ศิริติกุล นางสาวปนัดดา รุจะศิริ	
ภาควิชา	เคมี	คณะวิทยาศาสตร์
สาขา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2547	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก สารละลายที่ใช้ในการชะล้างคือ สารละลายโซเดียมอิตีทีเอ แหล่งที่มาของดินที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ จังหวัดลพบุรี (ตำบลลานารายณ์ ตำบลท่าหลวง และตำบลชัยบาดาล) และกรุงเทพมหานคร (เขตลาดกระบัง) ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน จากนั้นจึงทำการล้างดินตัวอย่างแบบครึ่ง โดยแปรค่าความเข้มข้นของสารละลายเป็น 0.01, 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.25 โมลาร์ หลังจากได้ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดจึงทำการแปรค่าอัตราส่วนดินต่อสารละลายเป็น 1 กรัมต่อ 5 มิลลิลิตร 1 กรัมต่อ 10 มิลลิลิตร 1 กรัมต่อ 20 มิลลิลิตร และ 1 กรัมต่อ 30 มิลลิลิตร ในการทดลองจะทำการควบคุมอัตราเร็วในการเขย่า 175 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และกรองผ่านกระดาษกรอง 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายส่วนที่ใสที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปีและหาเปอร์เซ็นต์ที่กำจัดได้ ทำการศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักที่อยู่ในรูปต่าง ๆ ในดินโดยวิธีสกัดแบบเป็นลำดับขั้น เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักของสารละลายโซเดียมอิตีทีเอ

ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอิตีทีเอที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.15 โมลาร์ และอัตราส่วนดินต่อสารละลายที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 กรัมต่อ 30 มิลลิลิตร ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักที่สูงที่สุด ในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น ก่อนการชะล้าง โลหะแคดเมียม โครเมียม และเหล็ก (Cd, Cr, Fe) จะอยู่ในรูปที่ละลายมากที่สุด โลหะแมงกานีส นิกเกิล และตะกั่ว (Mn, Ni, Pb) จะอยู่ในรูปที่ละลายและรูปรีดิวซ์มากกว่ารูปอื่น ๆ และสัดส่วนของทองแดง (Cu) ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป

ออกซิไดส์และรูปรีดิวซ์ หลังจากทำการชะล้างพบว่า สารละลายโซเดียมอิตีทีเอมีประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าโลหะหนักในรูปอื่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Washing of Metal Contaminated Soil by sodium EDTA Solution	
Name	Mr. Komsan Siritikul Ms. Panatda Rujasiri	
Department	Chemistry	Faculty of Science
Program	Environmental Resource Chemistry	
Academic Year	2004	
Special Project Advisor	Ass.Prof.Dr. Chompoonut Chaiyaraksa	

ABSTRACT

Washing of soil contaminated with heavy metal was studied in this special project. Washing solution used was Na_2EDTA . Four contaminated soils were sampling from Lumnarayana district (Lopburi province), Chaibadal district (Lopburi province), Thalaung district (Lopburi province) and Ladkrabang district (Bangkok province). Chemical and physical component of all soils were firstly characterized. Washing of all soils was then studied on batch mode by using the EDTA concentration of 0.01 M, 0.05 M, 0.10 M, 0.15 M and 0.25 M. After the optimum EDTA concentration was obtained, the ratio of washing solution to soil was varied as followed : 1 g : 5 mL, 1 g : 10 mL, 1 g : 15 mL, 1 g : 20 mL and 1 g : 30 mL. For all experiments, the shaking rate, washing time, temperature and pore-size filters were fixed at 175 rpm, 2 hours, room temperature and 0.45 μm , respectively. All aliquots were taken to determine the amount of heavy metal by Atomic absorption spectrophotometer. Various forms of metal in soils were investigated using sequential extraction method in order to determine the effect of EDTA washing.

The results showed that the optimum EDTA concentration was 0.15 M. The washing solution to soil ratio of 1 g : 30 mL gave the highest metal removal percentage. From sequential extraction of soils before washing with EDTA, it was found that Cd, Cr and Fe were found most in residual form. Mn, Ni and Pb were found most in residual form and reduced form. Most of Cu was

found in oxidized form and reduced form. After washing all soils with EDTA, it was found that EDTA could wash metal in the form of water soluble and exchangeable more than the other forms.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องมาจากความร่วมมือและความกรุณาของทุก ๆ ท่าน ผู้ทำโครงการพิเศษขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและดูแลเอาใจใส่ตลอดจนตรวจสอบ ดิชมผลงานสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทั้งสองท่าน คือ ผศ. พรรษวรรณ ต้นทวี และ ดร. อูสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่า ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ซึ่งช่วยให้โครงการพิเศษนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีทุกท่าน คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ ผู้ให้ความรู้คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่อง AAS เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณจินดาภรณ์ เอมะรุจิ คุณจักรพันธ์ ขจร คุณพิมลแข เขื่อนเมืองพาน คุณจุฬานิจงแก้ววัฒนา เพื่อนที่ร่วมเรียนภาคเคมีที่คอยช่วยเหลือในการทำงานต่าง ๆ เป็นอย่างดี รวมทั้งคุณอากาศี นาคสุข คุณพัชรรัตน์ แยมแก่นจันทร์ คุณเฉลิมชัย วุฒินันท์สุรสิทธิ์ เพื่อนที่คอยให้คำปรึกษาและให้การอำนวยความสะดวกการทดลองตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ได้ให้กำลังใจที่ดีในการศึกษาตลอดมา ทำให้ประสบความสำเร็จในการศึกษาจนถึงปริญญาตรี

กมสรรร ศิริติกุล

ปนัดดา รุจะศิริ

28 มีนาคม 2548

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ญ
คำย่อและสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 มลพิษของดิน (Soil pollution)	3
2.2 คุณลักษณะของดิน	4
2.3 การใช้ผลวิเคราะห์ดินทางกายภาพ	10
2.4 การใช้ผลวิเคราะห์ดินทางเคมี	11
2.5 ดินแคลคาเรียส (Calcareous soil)	13
2.6 โลหะหนัก	14
2.7 การล้างดิน (Soil washing)	16
2.8 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)	20
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	27
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	27
3.2 แหล่งที่มาของดิน	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะออกจากดิน โดยใช้สารละลายอีดีทีเอ	29
3.5 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)	31
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	32
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	32
4.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะออกจากดิน โดยใช้สารละลายอีดีทีเอ	34
4.2.1 หาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก	35
4.2.2 หาค่าอัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่เหมาะสม ในการกำจัดโลหะหนัก	40
4.3 การศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักในรูปต่าง ๆ ในดิน โดยการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการวิจัย	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ดิน	59
ภาคผนวก ข วิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)	65
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าคงที่ของการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ EDTA กับ ไอออนของ โลหะต่าง ๆ	20
3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	29
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	32
4.2 ปริมาณโลหะหนักของดินตัวอย่าง	34
ค.1 ค่า CEC ของดินตัวอย่าง	67
ค.2 ปริมาณสารอินทรีย์ของดินตัวอย่าง	67
ค.3 การกระจายตัวของอนุภาคของดินตัวอย่าง	67
ค.4 ปริมาณความชื้นของดินตัวอย่าง	68
ค.5 ค่าพีเอชของดินตัวอย่าง	68
ค.6 ค่าความเป็นกรดของดินตัวอย่าง	69
ค.7 โลหะออกไซด์ของดินตัวอย่าง	69
ค.8 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินอุ้รุด (1)	70
ค.9 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินอุ้รุด (2)	70
ค.10 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินกองขยะ	71
ค.11 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินแหล่งเก็บของเก่า	71
ค.12 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.25 M ของดินอุ้รุด (1)	72
ค.13 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.25 M ของดินอุ้รุด (2)	74
ค.14 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.25 M ของดินกองขยะ	76
ค.15 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.25 M ของดินแหล่งเก็บของเก่า	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.16 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05, 1:10, 1:15, 1:20 และ 1:30 ของดินอุ้รุด (1)	80
ค.17 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05, 1:10, 1:15, 1:20 และ 1:30 ของดินอุ้รุด (2)	82
ค.18 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05, 1:10, 1:15, 1:20 และ 1:30 ของดินกองขยยะ	84
ค.19 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05, 1:10, 1:15, 1:20 และ 1:30 ของดินแหล่งเก็บของเก่า	86
ค.20 ปริมาณแคดเมียมในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)	88
ค.21 ปริมาณแคดเมียมในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)	89
ค.22 ปริมาณโครเมียมในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)	90
ค.23 ปริมาณโครเมียมในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)	91
ค.24 ปริมาณทองแดงในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)	92
ค.25 ปริมาณทองแดงในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)	93
ค.26 ปริมาณเหล็กในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)	94
ค.27 ปริมาณเหล็กในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)	95
ค.28 ปริมาณแมงกานีสในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)	96
ค.29 ปริมาณแมงกานีสในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)	97
ค.30 ปริมาณนิกเกิลในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)	98
ค.31 ปริมาณนิกเกิลในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)	99
ค.32 ปริมาณตะกั่วในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)	100
ค.33 ปริมาณตะกั่วในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	18
2.2	19
3.1	30
3.2	31
4.1	35
4.2	37
4.3	38
4.4	39
4.5	41
4.6	42
4.7	43
4.8	44
4.9	46
4.10	47
4.11	48
4.12	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.13	สัดส่วนแมงกานีสในดินตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการชะล้าง	50
4.14	สัดส่วนนิกเกิลในดินตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการชะล้าง	51
4.15	สัดส่วนตะกั่วในดินตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการชะล้าง	52
ก.1	สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสดิน	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้

AAS	Atomic Absorption Spectrophotometer
CEC	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
cm	เซนติเมตร
DI	Deionized water
D _b	ความหนาแน่นรวม
g	กรัม
h	ชั่วโมง
kg	กิโลกรัม
meq	มิลลิอิควิวาเลนซ์
M	โมลาร์
mL	มิลลิลิตร
mg	มิลลิกรัม
mmol	มิลลิโมล
Na ₂ EDTA	Disodium salt of ethylenediaminetetraacetic acid
OM	Organic matter
pH	พีเอช หรือ ระดับความเป็นกรดต่าง
rpm	รอบต่อนาที
μ	ไมครอน
XRF	X-Ray fluorescence spectroscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

มลพิษทางดินที่เกิดจากการปนเปื้อนโลหะหนัก โดยส่วนมากจะเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ การประกอบกิจการอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ฯลฯ มลพิษเหล่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ เช่น น้ำใต้ดิน สัตว์ พืช รวมถึงมนุษย์ เนื่องจากมลพิษเหล่านี้มีความสามารถในการย่อยสลายต่ำ จึงก่อให้เกิดการสะสมและตกค้างในสิ่งแวดล้อม และการบำบัดทำได้ยาก วิธีการบำบัดต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการทำความสะอาดดิน ได้แก่ การบำบัดโดยใช้พืช (Phytoremediation) การบำบัดโดยใช้ความร้อน (Pyrometallurgical separation) การบำบัดโดยใช้กระแสไฟฟ้า (Electokinetics) และ การบำบัดโดยอาศัยหลักการทางชีวเคมี (Biochemical process) วิธีการบำบัดดังกล่าวให้ผลค่อนข้างดี แต่มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าวิธีการล้างดิน (Soil washing) สารเคมีที่ใช้ในการล้างดิน ได้แก่ สารคีเลตติงก์เอเจนต์ ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงแต่สารคีเลตติงก์ เอเจนต์มีประสิทธิภาพในการสกัดโลหะหนักสูงกว่า สารสกัดชนิดอื่น เช่น สารละลายกรดและเบส หรือตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ แม้ว่าค่าใช้จ่ายของวิธีการบำบัดเหล่านี้จะน้อยกว่าสารคีเลตติงก์ เอเจนต์ก็ตาม (Mulligan; Young and Gibbs 2001)

Irene and Yang (1997) ได้ศึกษาการสกัดโลหะที่ปนเปื้อนในส่วนต่าง ๆ ของดินปนเปื้อนจริงและดินปนเปื้อนสังเคราะห์ ด้วยสารละลายโซเดียมเอ็ดทีเอ (Na_2EDTA) พบว่า สารละลาย Na_2EDTA มีประสิทธิภาพในการสกัดโลหะในแต่ละส่วนของดินปนเปื้อน และการใช้สารละลาย Na_2EDTA ที่มีความเข้มข้นสูงกว่า จะมีประสิทธิภาพการสกัดโลหะหนักที่มากกว่าการใช้สารละลาย Na_2EDTA ที่มีความเข้มข้นที่ต่ำกว่า

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อนำสารละลายโซเดียมเอ็ดทีเอ ซึ่งเป็นสารคีเลตติงก์มาใช้ในการชะล้างโลหะหนักหลายชนิดออกจากดินปนเปื้อน 4 แห่ง และศึกษาถึงสัดส่วนของโลหะหนักรูปต่างๆที่มีอยู่ในดินและที่ถูกระบายออกมาด้วยเอ็ดทีเอ โดยใช้เทคนิคการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น

(Sequential extraction)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินปนเปื้อน
- 1.2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักออกจากดินโดยใช้สารละลายโซเดียมอิตีทีเอ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสัดส่วนของโลหะรูปต่าง ๆ ในดินทั้งก่อนและหลังการถูกชะ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินทั้ง 4 แหล่ง ได้แก่ ดินจากบริเวณอู่รถ (1) ดินจากบริเวณอู่รถ (2) ดินจากบริเวณกองขยะ และดินจากบริเวณแหล่งเก็บของเก่า โดยจะวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของอนุภาค พีเอช ความเป็นกรด ความชื้น ปริมาณอะลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีส เพอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (CEC) และความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ
- 1.3.2 ทดสอบการชะล้างโลหะหนักออกจากดินโดยใช้สารละลาย 0.25 M, 0.15 M, 0.1 M, 0.05 M และ 0.01 M Na_2EDTA ซึ่งแปรค่าอัตราส่วนดิน (กรัม) ต่อสารละลาย (มิลลิลิตร) เป็น 1:5, 1:10, 1:15, 1:20 และ 1:30 โดยควบคุมอัตราเร็วในการเขย่าเป็น 175 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS พร้อมทั้งหาเปอร์เซ็นต์การกำจัด (% Removal)
- 1.3.3 นำดินปนเปื้อนทั้งก่อนและหลังการถูกชะล้าง ไปสกัดแบบลำดับขั้นเพื่อหาสัดส่วนของโลหะรูปต่าง ๆ ในดิน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เป็นแนวทางในการกำจัดโลหะหนักออกจากดินปนเปื้อน

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 มลพิษของดิน (Soil pollution) (สรสิทธิ์, 2535)

2.1.1 นิยามและความหมาย

มลพิษของดิน (Soil pollution) หมายถึง สภาพความปนเปื้อนของเนื้อดินด้วยสารมลพิษ (Pollution) มากเกินขีดจำกัดจนเกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัย ตลอดจนการเติบโตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ จากคำนิยามจะเห็นได้ว่า ดินเสียนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีสารมลพิษในดิน และดินจะเสียได้ก็ต่อเมื่ออัตราการเพิ่มสารมลพิษลงไปดินมากเกินไป หรือการสลายตัวของสารมลพิษนั้นจนเกิดการสะสมสารมลพิษมากขึ้นถึงขั้นเป็นอันตรายต่อสภาวะแวดล้อม

ตัวการที่ทำให้เกิดดินเสียแบ่งได้ 2 ประการ คือ 1) เสียโดยกำเนิด เช่น ดินเค็ม ดินเปรี้ยว โดยกำเนิด เป็นต้น และ 2) เสียโดยการกระทำของมนุษย์ เช่น ดินเสียโดยการปนเปื้อนจากอินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร ยากำจัดศัตรูพืช ฆาตพิษ และธาตุโลหะหนักและวัชพืช เป็นต้น

2.1.2 แหล่งที่มาและการสะสม

แหล่งของสารมลพิษสู่ดินมีได้หลายแหล่ง คือ จากสารเคมีในการเกษตร โรงถลุงแร่ การเผาไหม้ น้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนการใช้ที่ดินเป็นที่ถมวัสดุเหลือใช้ แหล่งปนเปื้อนเหล่านี้ทำให้เกิดการสะสมธาตุพิษต่าง ๆ ได้ในดิน แหล่งที่มาของสารปนเปื้อนที่สำคัญและมองเห็นได้ชัด นอกจากโรงถลุงแร่แล้วก็ยังมีมาจากโรงงานอุตสาหกรรม ของเหลือใช้จากโรงงาน และไอเสียจากรถยนต์ ฆาตพิษเหล่านี้เมื่อตกลงสู่ดินจะเกิดการสะสมในดินเป็นจำนวนมาก

แหล่งของสารพิษที่สำคัญอีกแหล่งก็คือของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ของเหลือทิ้งที่ปล่อยในรูปกากน้ำโสโครก (Sewage sludge) ทิ้งจากโรงงานและแหล่งชุมชน

2.2 คุณลักษณะของดิน

2.2.1 ความเป็นกรดของดิน (Soil acidity)

1. แหล่งที่มาของความเป็นกรดในดิน (Source of soil acidity)

ความเป็นกรดของดินเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ หรือมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง ความเป็นกรดของดินจะมากหรือน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับธรรมชาติและปัจจัยเหล่านั้น แต่แหล่งที่มาของความเป็นกรดในดิน ได้แก่ อินทรีย์วัตถุหรือฮิวมัสอนินทรีย์คอลลอยด์ และเกลือบางชนิดที่ละลายน้ำได้

1.1 อินทรีย์วัตถุหรือฮิวมัส (Organic matter or humus)

สารอินทรีย์ที่เป็นเศษเหลือของพืชและสัตว์เมื่อสลายตัวด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้เกิดสารอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ ทั้งที่มีโครงสร้างอย่างง่าย ๆ และสลับซับซ้อน ซึ่งมีกลุ่มที่ว่องไวทางเคมี อันประกอบด้วยกรดอินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะสารฮิวมัส ซึ่งประกอบด้วย Function groups ต่าง ๆ ที่สามารถปล่อยไฮโดรเจนออกมาได้ และฮิวมัสสามารถทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียม และเหล็กกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนและทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนได้

นอกจากนี้เมื่ออินทรีย์วัตถุสลายตัวและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในดินมีการหายใจ ย่อมต้องเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นมา และเมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้กรดคาร์บอนิก ซึ่งต่อมาก็จะแตกตัวเป็นไอออน ปล่อย H^+ ออกมา รวมทั้งกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุก็จะเพิ่มความเป็นกรดในดินมากขึ้น

1.2 คอลลอยด์พวกอนินทรีย์สาร (Inorganic colloids)

การเกิดกรดในดินเนื่องจากคอลลอยด์พวกอนินทรีย์สารเป็นผลที่ได้โดยทางอ้อม การแตกหักของขอบหรือเหลี่ยมมุมของผลึกแร่ดินเหนียวพวกเคโอลิไนต์ ทำให้ส่วนที่เป็น $-Al-OH$ แตกตัวเป็น H^+ ตลอดจนสารคอลลอยด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งสารพวกอัลโลเฟน สามารถทำให้ดินเกิดเป็นกรดได้ทั้งสิ้น

ในสภาพแวดล้อมของดินที่เป็นกรด อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งถูกดูดซับอยู่ตามผิวของแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 อยู่ก่อนแล้วจะถูกไล่ที่ออกมา และอยู่ในรูปของ Al^{3+} หรืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ไอออนรูปต่าง ๆ คือที่ระดับ pH ต่ำกว่า 5 อะลูมิเนียมจะถูกดูดซับอยู่ในรูปของ $Al(H_2O)_6^{3+}$ ซึ่งเรียกว่า Hexahydrated Al^{3+} และอะลูมิเนียมที่ถูกดูดซับไว้บนผิวของแร่ดินเหนียวนี้จะอยู่ในสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

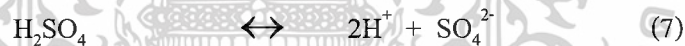
สมดุลกับ Al^{3+} ในสารละลาย และอลูมิเนียม Al^{3+} นี้เองจะเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ทำให้เกิดความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ดังสมการ



1.3 เกลือที่ละลายน้ำได้ (Soluble salts)

เกลือที่ละลายน้ำได้และก่อให้เกิดกรดขึ้นในดินส่วนใหญ่ได้จากปุ๋ยที่ใส่ลงไปดิน โดยสารประกอบที่เป็นปุ๋ยทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วเกิดกรดที่สามารถแตกตัวให้ H^+ ได้ดังนี้

ก. การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมหรือรูปยูเรีย ก็ก่อให้เกิดความเป็นกรดได้ คือ



ข. การใส่ปุ๋ยฟอสเฟต การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่อยู่ในรูปโมโนแคลเซียมฟอสเฟตนั้น ทำให้เกิดกรดในดินอย่างรุนแรงได้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง



กรดออร์โทฟอสฟอริกที่เกิดขึ้นนี้ จะกระจายออกไปจากจุดที่ใส่ลงไปดิน และอาจทำให้บริเวณนั้นมี pH ต่ำลงถึงค่า 1.5 ได้ สำหรับค่า pH ต่ำระดับนี้ มันสามารถทำปฏิกิริยากับเหล็ก อลูมิเนียม และแมงกานีส กลายเป็นเกลือฟอสเฟตที่ตกตะกอนลงไปในบริเวณที่เป็นกรดนั้น

2. การวัดพีเอชของดิน (Measurement of soil pH)

การวัด pH ของดินโดยทั่วไปมีวิธีที่ใช้กันอยู่ 2 วิธี คือ

1) การใช้วิธีเทียบสี (Colorimetric technique)

วิธีใช้หลักการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสีต่าง ๆ ตาม pH ของสารละลายดิน ตามปรกติใช้สารที่เรียกว่า pH Indicator หยดใส่ลงไปดินแล้วทำให้เกิดสีและนำมาเปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐาน ลักษณะสีของ Indicator เป็นแบบ Acid-base indicator ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอะลูมิเนียม ดังนั้นดินที่มีอิวมัสมากหรือพวกมีพวก Montmorillonite เป็นองค์ประกอบอยู่มากก็ จะทำให้ C.E.C. ของดินนั้นสูงขึ้นกว่าดินชนิดหนึ่งซึ่งมีปริมาณ Clay ทั้งหมดเท่ากัน ดังนั้นอาจจะ กล่าวได้ว่า C.E.C. ของดินจะมากหรือน้อยและจะแตกต่างกันไปจาก C.E.C. ของดินอื่น ๆ นั้น เนื่องมาจาก

1) ชนิดของคอลลอยด์ในดิน ชนิดของคอลลอยด์ที่มีอยู่ในดินมีบทบาทที่สำคัญมากต่อ ปริมาณของ C.E.C. ของดิน เนื่องจากคอลลอยด์ของดินแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยน ไอออนบวกแตกต่างกันออกไป

2) ประเภทของเนื้อดิน เนื้อดินชนิดต่าง ๆ มีอิทธิพลในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินที่มีเปอร์เซ็นต์ของดินเหนียวสูง ย่อมจะมี C.E.C. สูงกว่าดินที่มีดินเหนียวอยู่ น้อยกว่า เนื้อดินเป็นปัจจัยที่สามารถนำมาพิจารณาปริมาณ C.E.C. อย่างคร่าว ๆ ได้

3) ปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวก อิวมัสมีอิทธิพลที่สำคัญต่อปริมาณของ C.E.C. ของดิน ทั้งนี้เนื่องจากอิวมัสมีความสามารถในการ แลกเปลี่ยนไอออนบวกที่สูงคงได้กล่าวมาแล้ว

ความสำคัญ ความจุการแลกเปลี่ยนไอออนบวกมีความสำคัญอย่างมากในการควบคุม คุณสมบัติต่าง ๆ ทั้งกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพของดิน ความสำคัญของ C.E.C. สรุปได้ดังนี้ คือ

ก. ความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินที่มี C.E.C. สูงมักจะเป็นดินที่มีความอุดม สมบูรณ์สูง ทั้งนี้เนื่องจากดินนั้นมีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกต่าง ๆ ที่เป็นอาหารพืช ไว้ได้มาก พืชสามารถที่จะดึงไอออนบวกต่าง ๆ เหล่านี้ได้โดยตรงจากพื้นผิวของคอลลอยด์ และ นอกจากนั้นธาตุอาหารพืชต่าง ๆ ไม่สูญหายไปจากดินได้ง่าย เพราะว่ามีอำนาจในการดูดซับธาตุ อาหารเหล่านี้ไว้

ข. มีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ความร่วนซุย ความเหนียว การฟุ้งกระจาย และการเกาะกลุ่มของดิน ดินที่มีไอออนบวกที่มีวาเลนซ์เดียวโดยเฉพาะ Na^+ มีผลทำให้ดินอยู่ใน ลักษณะที่ฟุ้งกระจายซึ่งอนุภาคดินเกาะกลุ่มกันเป็นเม็ดดินซึ่งมีผลให้ดินนั้นร่วนซุยไม่แน่นทึบ และมีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศที่ดี ตามทฤษฎีของประจุสองชั้น (Ionic double layer) คือผล ของคอลลอยด์มีประจุลบอยู่ดังนั้นจึงมีอำนาจในการดูดซับประจุบวกหรือผลึกตันประจุลบที่อยู่ ใกล้ๆ ได้ ประจุบวกที่ดูดซับอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ทำให้เกิดสภาพประจุสองชั้น ชั้นในจะเป็นประจุลบ ซึ่งเป็นของคอลลอยด์ ส่วนชั้นนอกจะเป็นประจุบวกของพวกไอออนบวก ระยะทางระหว่างประจุ บวกที่อยู่รอบนอกกับประจุลบที่อยู่ชั้นในก็จะมาก แต่ถ้าไอออนบวกที่ดูดซับที่ผิวคอลลอยด์มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดที่มีน้ำหุ้มอยู่บ้างก็จะทำให้ประจุสองชั้นของคอลลอยด์บางอนุภาคของคอลลอยด์จึงมีโอกาสได้มาอยู่ใกล้ชิดกัน

ค. สมบัติทางเคมีของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเป็นกรดของดินเนื่องจากมี H^+ ดูดซับที่ผิวคอลลอยด์มากกว่าไอออนบวกที่เป็นค่าเช่น Ca^{++} และ K^+ ซึ่งดินที่เป็นกรดมาก ๆ มีผลต่อความเป็นประโยชน์ได้ของธาตุอาหารพืชบางชนิด ดังนั้นการแก้ไขหรือปรับปรุงดินที่เป็นกรดมากให้เป็นกรดน้อยลงสามารถกระทำได้โดย การไล่ที่ H^+ ด้วยการใส่ปูนลงไป ในดิน Ca^{++} ที่อยู่ในปูนก็จะไปแทนที่ H^+ ที่ดูดซับที่ผิวของคอลลอยด์ออกมาก็จะทำให้ความเป็นกรดของดินลดน้อยลง

2.2.3 อินทรีย์วัตถุในดิน (Soil organic matter)

อินทรีย์วัตถุในดิน เป็นวัตถุที่สลับซับซ้อนมาก กล่าวคือ นอกจากจะประกอบด้วยสารประกอบ (Compound) ที่มักปรากฏในพืชและสัตว์แล้ว ยังประกอบด้วยจุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตและตายแล้ว ตลอดจนสารประกอบที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นและสารประกอบที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากกิจกรรมการสลายตัวของจุลินทรีย์ ฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่าอินทรีย์วัตถุในดินประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์แทบทุกชนิดที่สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติตลอดจนสารประกอบจำพวกกรดอินทรีย์ (Organic acid) และพวก Wax สารประกอบต่าง ๆ เหล่านี้อาจปรากฏอยู่ในสภาพโคเดียมหรือรวมตัวกันเป็นสารที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อนก็ได้

ความสำคัญของอินทรีย์วัตถุในดิน อินทรีย์วัตถุในดินมีความสำคัญอย่างยิ่งในแง่ของการควบคุมอิทธิพลต่อสมบัติของดิน สมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี และทางชีวะของดิน อิทธิพลของอินทรีย์วัตถุในดินที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้พอจะกล่าวสรุปเป็นข้อ ๆ ดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลต่อสีของดิน อินทรีย์วัตถุในดินทำให้สีของดินเป็นสีน้ำตาลจนถึงสีดำ ฉะนั้นโดยทั่วไปแล้วดินที่มีสีหมักไปทางน้ำตาลหรือดำจึงถือเป็นดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง

2. อิทธิพลต่อสมบัติทางฟิสิกส์อื่น ๆ อินทรีย์วัตถุช่วยส่งเสริมให้อนุภาคของดินจับตัวกันเป็นก้อน ช่วยลดความหนืดและ Cohesion ของดิน ตลอดจนเป็นตัวช่วยให้ดินมีความจุในการอุ้มน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี

3. อิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับไอออนบวก (Influence on cation adsorption capacity) อินทรีย์วัตถุในดินเป็นสารที่มีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกได้สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการดูดซับ ไอออนบวกโดยคอลลอยด์อื่น ๆ โดยทั่วไปการดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุจะสูงกว่าตั้งแต่ 2 ถึง 30 เท่า ในดินโดยทั่วไปปริมาณของไอออนบวกที่ถูกดูดซับอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งแต่ 30 -90% เป็นพวกที่ถูกดูดซับ โดยอินทรีย์วัตถุในดิน เหตุที่อินทรีย์วัตถุมีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกก็เนื่องมาจากประจุลบซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการแตกตัวของสารประกอบบางกลุ่มในอินทรีย์วัตถุ

4. อิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน ดังกล่าวในข้อ 3 แล้วว่าอินทรีย์วัตถุในดินมีประจุลบเป็นจำนวนมากและมีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกสูง จึงมีผลทำให้ดินจึงมีผลทำให้ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ได้ดี

5. อิทธิพลต่อปริมาณและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช อินทรีย์วัตถุในดินมีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบหรือผสมอยู่ ธาตุอาหารเหล่านี้ถูกปลดปล่อยออกมาสะสมอยู่ในดินหลังจากอินทรีย์วัตถุสลายตัวโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ธาตุอาหารพืชที่เป็นประจุบวกซึ่งถูกดูดซับอยู่โดยอินทรีย์วัตถุ ยังเป็นประโยชน์ต่อพืชได้เช่นเดียวกัน โดยประจุบวกที่ถูกดูดซับอยู่ถูกแลกเปลี่ยนหรือแทนที่โดยประจุบวกได้ด้วยตัวเอง และอีกประการหนึ่งอินทรีย์วัตถุที่มีสมบัติเป็นกรด หรือกรดที่เกิดขึ้นจากคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาเมื่ออินทรีย์วัตถุสลายตัวยังช่วยละลายธาตุอาหารบางชนิดให้เป็นประโยชน์ต่อพืชอีกด้วย

6. อิทธิพลต่อจุลินทรีย์ดิน อินทรีย์วัตถุในดินเป็นอาหารของจุลินทรีย์ดิน โดยเฉพาะจุลินทรีย์พวก Heterothrophic ดินที่มีอินทรีย์วัตถุในปริมาณที่สูงจะทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ในดินนั้นสูงด้วย ซึ่งก็เป็นผลให้กิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ เช่น การแปรสภาพของธาตุอาหารพืช การตรึงไนโตรเจน ฯลฯ เกิดขึ้นได้ในดินเป็นอย่างดี

แหล่งที่มาของอินทรีย์วัตถุในดิน อินทรีย์วัตถุในดินมีแหล่งกำเนิดมาได้หลายทางด้วยกัน ซึ่งพอจะแยกออกได้ดังนี้

1. จากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์
2. การสลายตัวของชิ้นส่วนของพืชที่ไถกลบลงไป ในดินหรือซังของพืชที่เหลือหลังจากเก็บเกี่ยวผลิตผลแล้วหรืออาจเป็นพืชที่ปลูกขึ้นเพื่อการไถกลบโดยเฉพาะ
3. การสลายตัวของ Stable manure ซึ่งประกอบด้วยสิ่งขับถ่ายของสัตว์
4. จากการสลายตัวของปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่ใส่ลงไป ในดินเพื่อจุดประสงค์ในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน
5. จากการสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์ เช่น Bone meal, Dried blood, Tankagcottonseed meal, Linseed meal, Peat
6. จากเซลล์ของจุลินทรีย์ดิน ซึ่งอาจเป็นจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่หรือที่ตายแล้วรวมทั้งสารประกอบอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การใช้ผลวิเคราะห์ ดินทางกายภาพ (เอิบ, 2542)

1. เนื้อดิน การวิเคราะห์เนื้อดิน จะได้ค่าร้อยละขององค์ประกอบของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ของดิน ซึ่งผลที่ได้สามารถใช้ลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.1 ใช้ในทางวิศวกรรม และการพิจารณาวัสดุก่อสร้าง

1.2 ทำให้ทราบถึงการเคลื่อนย้ายของดินเหนียว ทำให้ทราบว่า ในดินนั้นมีชั้นดินต่าง วัณิฉัยยาร์ฉิลลิกหรือไม่

1.3 ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของพืชพันธุ์ ต่อการเคลื่อนย้ายของอนุภาคดินเหนียว เช่น พวง ดินป่า จะมีการเคลื่อนย้ายของดินเหนียวมากกว่าในทุ่งหญ้า

1.4 ทำให้เข้าใจถึงกระบวนการ ในการพัฒนาดินดีขึ้น

1.5 ทำให้สามารถวินิจฉัยชั้นดินที่วัสดุแตกต่างกันหรือไม่มีความต่อเนื่องทางธรณีได้

2. ความหนาแน่นรวมของดิน สามารถนำมาใช้ได้หลายอย่างด้วยกันเช่น

2.1 ใช้เปรียบเทียบความพรุนรวม และหาค่าร้อยละของปริมาตรความชื้นที่เป็นประโยชน์

2.2 ใช้พิจารณาว่ามีชั้นดาน (Pan) เกิดขึ้นหรือไม่ เพื่อศึกษาวิวัฒนาการของชั้นดาน

2.3 ช่วยในการศึกษาของปริมาณเถ้าภูเขาไฟ (Volcanic ash) เพราะโดยปรกติวัสดุเหล่านี้ จะมีความหนาแน่นรวมต่ำ

2.4 ใช้ในการศึกษาการผุพังอยู่กับที่ และการเปลี่ยนแปลงของชั้น C ซึ่งเป็นชั้นหินผุ ของ หินอัคนีและหินแปร

2.5 ความหนาแน่นรวมจะมีความสัมพันธ์กลับกับรากพืช คือถ้าหากว่าดินมีความ หนาแน่นรวมสูง จะมีรากพืชที่ขนานไขเข้าไปได้น้อย

3. ความชื้นดิน ค่าความชื้นของดิน สามารถนำมาใช้ได้ทั้งทางกำเนิดดิน และการแจกแจงลักษณะ ของดิน ปริมาณของแรงน้ำที่ยึด 15 บาร์ หรือ 1,500 กิโลพาสคัล เป็นจุดแบ่งลักษณะของสภาพ ความชื้นดิน ดินที่จัดว่าเป็นดินแห้งในกลุ่มของเอริคซอลส์ จะมีความชื้นต่ำกว่าจุดนี้มากกว่า ครึ่งหนึ่งของเวลาและไม่อยู่ในลักษณะแช่แข็ง เป็นต้น

2.4 การใช้ผลวิเคราะห์ดินทางเคมี

1. ความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก เนื่องจากค่าวิเคราะห์นี้จะแสดงให้เห็นความสามารถที่ดินจะดูดซับ หรือยึดไอออนบวก และแลกเปลี่ยนไอออนเหล่านี้ได้ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบทดลอง และมีการวิเคราะห์หลายแบบ ซึ่งค่าที่ได้จะมีปัจจัยควบคุมในการวิเคราะห์ทางด้านต่าง ๆ อยู่มาก เช่น

- ก. ค่า pH ในขณะที่มีการวิเคราะห์ ซึ่ง pH นี้ จะเกี่ยวกับกิจกรรมของตัวแลกเปลี่ยนต่าง ๆ ในระบบ รวมถึงวัสดุอินทรีย์ต่าง ๆ
- ข. ค่าที่ได้อาจจะแตกต่างกัน เนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีของสารละลายที่มีการแลกเปลี่ยนที่ใช้ในการวิเคราะห์ ไอออนบางชนิดจะถูกแทนที่หรือแลกเปลี่ยนได้ง่ายกว่าชนิดอื่น

แต่แม้ว่าค่านี้จะมีข้อจำกัดตีความด้วยมากมายก็ตาม ค่าความจุแลกเปลี่ยน ไอออนบวก จะมีคุณค่าในการประเมินความสามารถของดินที่จะเก็บกักไอออนบวก หรืออัตราความรุนแรงของการผูกอยู่กับที่ และกิจกรรมทางเคมีเป็นส่วนรวม เช่น

- 1.1 ใช้เป็นเครื่องวินิจฉัยชนิดของแร่ดินเหนียวในดิน
- 1.2 ใช้วินิจฉัยความรุนแรงสัมพัทธ์ของการผูกอยู่กับที่ คือถ้าค่าความจุแลกเปลี่ยน ไอออนบวกต่ำ มักจะมีการผูกอยู่กับที่รุนแรง
- 1.3 ใช้วินิจฉัยความสำคัญทางธาตุอาหารพืช ถ้าหากดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยน ไอออนบวกสูง แสดงว่ามีความจุในการที่จะเก็บธาตุอาหารสูง
- 1.4 ใช้วินิจฉัยเกี่ยวกับความสามารถในทางวิศวกรรมของดิน คือถ้ามีความจุในการแลกเปลี่ยน ไอออนบวกสูงมาก (มากกว่า 20-25 mol/kg) จะมีการยึดและหดตัวสูง
- 1.5 ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาความอึดตัวเบส ซึ่งใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

2. ไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้และความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable cations and exchangeable acidity)

ข้อมูลของไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ สามารถใช้วินิจฉัยดินในลักษณะต่อไปนี้ คือ

- 1) ถ้าหากว่าอัตราส่วนของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่อเบสชนิดอื่น ๆ และความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้น สมบัติทางเคมีจะไม่ดีเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) อัตราส่วนของแคลเซียมต่อแมกนีเซียม เป็นเครื่องวินิจฉัยอัตราการฟุ้งอยู่กับที่สัมพัทธ์ และอัตราพัฒนาการของดินในเขตชั้นและกิ่งชั้น นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วย

ข้อมูลของความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ สามารถใช้วินิจฉัยในลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้คือ

- 1) เมื่อความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น จะมีการชะละลายและการฟุ้งอยู่กับที่เพิ่มขึ้นในสภาพแวดล้อมที่ชื้น
- 2) ถ้าหากมีอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่าร้อยละ 60 ของความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกจะเกิดสภาพเป็นพิษเนื่องจากอะลูมิเนียม
- 3) ถ้าหากมีไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้อยู่มาก pH จะต่ำ ซึ่งอาจเป็นผลจาก
 - ก. มีกรดซัลฟูริกเกิดขึ้นจากออกซิเดชันของซัลไฟด์ เช่น บริเวณที่มีดินเหนียวเปรี้ยวจัด
 - ข. อาจมีอินทรีย์วัตถุที่เป็นกรดมากอยู่ เช่น สะสมกันอยู่ในชั้นดินล่างวินิจฉัยสเปดิกเป็นต้น
 - ค. อาจเกิดการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมากเกินไปในดินที่เป็นทราย

3. ค่าปฏิกิริยาดิน (pH)

สามารถใช้ในการวินิจฉัยดินได้มาก ปกติแล้วค่า pH ของดินในสนามจะสูงกว่าค่าในห้องปฏิบัติการเล็กน้อย]

4. ค่าอิ่มตัวเบส เป็นค่าที่วิเคราะห์ที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ค่าเบสที่แลกเปลี่ยนได้ และความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ และสามารถใช้ในการพิจารณาดินได้ในลักษณะต่อไปนี้ คือ

4.1 ใช้เป็นข้อมูลวินิจฉัยอัตราการชะละลายของดิน ค่านี้ของชั้นสะสม (ชั้น B) และตอนบนของชั้นวัตถุกำเนิด (ชั้น C) จะใช้เป็นข้อวินิจฉัยว่าเบสได้ถูกเคลื่อนย้ายและแทนที่ด้วยความเป็นกรดที่ถูกแทนที่ได้มากน้อยแค่ไหน

4.2 ใช้เป็นข้อมูลในการวินิจฉัยอันดับของดิน

5. ค่าเหล็กอิสระ หรือเหล็กที่สกัดได้ ในเขตสภาพภูมิอากาศร้อนและชื้น ที่มีกระบวนการฟุ้งอยู่กับที่อย่างรุนแรง เหล็กจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และหลุดออกจากแร่ปฐมภูมิมาอยู่ในรูปของเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไซด์อิสระ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับสภาพการระบายน้ำของดินด้วย ข้อมูลที่วิเคราะห์เหล็กที่สกัดได้จะใช้ประโยชน์ได้หลายประการคือ

5.1 ใช้พิจารณาเกี่ยวกับความรุนแรงของการผูกพันอยู่กับที่ในดิน เช่น ในดินที่มีแร่ในการสลายตัวได้ง่าย ค่าร้อยละของเหล็กอิสระจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผูกพันอยู่กับที่เพิ่มขึ้น และอายุดินมากขึ้น

5.2 เหล็กอิสระจะมีปริมาณลดลงถ้าหากว่าดินมีการระบายน้ำไม่ดีเท่าที่ควร

5.3 ค่าร้อยละของเหล็กอิสระที่ใช้ในการวินิจฉัยชั้นดินต่างวินิจฉัยสเปคโตร่วมกับการบ่อน และอะลูมิเนียม เป็นต้น

2.5 ดินแคลคาเรียส (Calcareous soil) (ไพบูลย์, 2546)

ดินแคลคาเรียส (Calcareous soils) หมายถึงดินต่างประเภทที่มีหินปูน (Limestone) เป็นวัตถุดิบกำเนิดดินที่สำคัญและมีปูนในรูปของแร่แคลไซต์ (Calcite, CaCO_3) สะสมอยู่เป็นปริมาณมากถึง 60-70% โดยอาจมีปูนชนิดอื่นที่สำคัญเช่นในรูปของแร่โดโลไมต์ [Dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] ปะปนอยู่ด้วย อย่างไรก็ตามในขณะที่แร่โดโลไมต์มักเป็นแร่ปฐมภูมิเสมอ แต่แร่แคลไซต์อาจพบได้ทั้งที่เป็นแร่ปฐมภูมิและทุติยภูมิ ในสารละลายดินซึ่งมีแมกนีเซียมอยู่สูง การเกิดแร่แคลไซต์ทุติยภูมิ มักเกิดการตกตะกอนร่วมกันกับ MgCO_3 เกิดเป็นแร่แมกนีเซียมแคลไซต์ (Magnesian calcite, Mg-calcite) ซึ่งมีสูตรเคมีโดยทั่ว ๆ ไปคือ $\text{Ca}_{1-x}\text{MgCO}_3$ โดยที่เศษส่วน โมล x ของ MgCO_3 จะมีค่าน้อยกว่า 0.5 และโดยทั่วไปมักมีค่าไม่เกิน 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารประกอบคาร์บอเนตของ Ca/Mg ที่เป็นแร่ทุติยภูมิเช่นในกรณีของแร่แมกนีเซียมแคลไซต์นั้น จะมีองค์ประกอบของ MgCO_3 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำมาก

ดินแคลคาเรียสมีค่า pH อยู่ในช่วง 7.3-8.5 ดังนั้นปัญหาที่สำคัญของดินประเภทนี้ จะเกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ที่น้อยมาก นอกจากนั้นความเป็นประโยชน์ของการละลายของจุลธาตุ (Micronutrients) บางชนิดจะมีน้อยมากเช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการละลายของเหล็กจะลดลงถึง 103 เท่าต่อหนึ่งหน่วย pH ที่เพิ่มขึ้น นอกจากการละลายได้น้อยในดินต่างแล้ว เหล็กในสารละลายดินมักจะเกิดการตกตะกอนในรูปของเหล็กออกไซด์ สารประกอบซึ่งอยู่ในรูปของ Fe(III) ละลายยากและความเป็นประโยชน์ต่อพืชมีน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืชที่ต้องการธาตุเหล็กในปริมาณที่มากถึงแม้จะเพิ่มเหล็กในรูปของปุ๋ยลงไป ในดินก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากดินแคลคาเรียส เกี่ยวข้องโดยตรงกับเกลือในรูปคาร์บอเนต ซึ่งสะสมในดินเป็นปริมาณมาก ดังนั้นการศึกษาสมดุลเคมีที่เกี่ยวข้องกับระบบคาร์บอเนต จึงมีประโยชน์และเป็นพื้นฐานสำคัญต่อการศึกษาสมบัติทางเคมีของดินดังกล่าว

2.6 โลหะหนัก

2.6.1 สมบัติและความเป็นพิษของโลหะหนัก (บุญเติม, 2536)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งหมด 68 ธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่สถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) สมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้น โลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (Organometallic compound) ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร (Food chain) โลหะหนักเหล่านี้จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ ผัก และผลไม้ จากนั้นจึงเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดมีสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต อาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้

2.6.2 แหล่งกำเนิดของสารโลหะหนัก

แหล่งกำเนิดของสารโลหะหนักที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ สามารถแบ่งเป็น 3 ลักษณะที่สำคัญดังนี้

- 1) แหล่งอุตสาหกรรม
- 2) แหล่งเกษตรกรรม
- 3) แหล่งชุมชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 วิธีการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน (Mulligan; Yong and Gibbs 2001)

วิธีการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน สามารถแบ่งเป็น 11 วิธี ได้แก่

1. Isolation and containment

คือ วิธีการแยกและควบคุมโลหะหนัก โดยการปรับสภาพให้คงตัว (Solidification) หรือ การปรับสภาพให้เสถียร (Stabilization) เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะหนัก

2. Mechanical separation

คือ วิธีการแยกอนุภาคเพื่อนำไปบำบัด โดยใช้เครื่อง Hydrocyclone หรือ Fluidized bed ซึ่งอาศัยหลักของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และ แรงโน้มถ่วง นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมี เช่น สารช่วยการลอยตัว และการแยกโลหะหนักโดยอาศัยแม่เหล็ก

3. Pyrometallurgical separation

คือ วิธีการบำบัดสำหรับโลหะหนักที่สามารถระเหยได้ โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-700 °C เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการบำบัดปรอท

4. Chemical treatment

คือ วิธีการบำบัดทางเคมี โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือ การปรับพีเอช ด้วยสารละลายกรดหรือเบส เพื่อลดความเป็นพิษ ตกตะกอน หรือ เพื่อละลายโลหะหนัก

5. Permeable treatment walls

คือ วิธีการบำบัดโดยใช้แผงกั้นที่มีความสามารถในการซึมผ่าน เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน

6. Electrokinetics

คือ การแยกไอออนบวกและไอออนลบในน้ำใต้ดิน โดยผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง (Cathod และ Anode)

7. Biochemical process

คือ วิธีการบำบัดโดยอาศัยกระบวนการทางชีวเคมี ได้แก่ การชะทางชีวภาพ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นการใช้แบคทีเรีย และควบคุมสภาวะต่าง ๆ เช่น ปริมาณออกซิเจน ค่าพีเอช และ อุณหภูมิ

8. Phytoremediation

คือ วิธีการบำบัดโดยใช้พืชเป็นตัวสกัดโลหะหนักออกจากดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งอาจนำวิธีบำบัดวิธีอื่นมารวมด้วย เช่น การสกัดโลหะหนักด้วยกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Soil flushing

คือ วิธีการสกัดโลหะหนักออกจากดินโดยใช้น้ำหรือสารละลายชะล้างสิ่งเจือปนออกมา ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายในแหล่งปนเปื้อนได้

10. Treatment of sediments

คือ วิธีการบำบัดกากตะกอนโดยอาศัยหลักการต่าง ๆ เช่น Hydrocyclone, Solidification, Stabilization และ การสกัดด้วยสารละลายกรด

11. Soil washing (Chemical leaching)

คือ วิธีการกำจัดโลหะหนักออกจากดินปนเปื้อนด้วยการใช้สารละลายสกัดต่าง ๆ เช่น คีเลตติงค์ เอเจนต์ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายนอกแหล่งปนเปื้อนได้

2.7 การล้างดิน (Soil washing)

โลหะหนักสามารถกำจัดออกจากดินได้ โดยการเติมสารที่ทำหน้าที่ในการสกัดโลหะหนัก ซึ่งสารดังกล่าว ได้แก่

1. คีเลตติงค์ เอเจนต์ (Chelating agent) ได้แก่ Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), Nitriolotriacetic acid (NTA)
2. กรดอนินทรีย์ (Inorganic acid) ได้แก่ กรดซัลฟูริก และ กรดไฮโดรคลอริก
3. กรดอินทรีย์ (Organic acid) ได้แก่ กรดอะซิติก และ กรดซิตริก
4. สารละลายเบส ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์
5. สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ Biosurfactants
6. ตัวทำละลายซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำ ได้แก่ เมทานอล
7. ไอออนบวกที่ไม่เป็นพิษ (Nontoxic cation)
8. การใช้สารละลายกรด ร่วมกับ คอมเพลกซิงค์ เอเจนต์
9. ออกซิไดส์ซิงค์ เอเจนต์
10. รีดิวส์ซิงค์ เอเจนต์
11. อื่น ๆ

กระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนในดิน แบ่งเป็น 3 ประเภท (นัทธีรญา, 2545) ดังนี้

- 1) การสกัดด้วยน้ำซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการสกัดต่าง ๆ มี 3 ประเภท ดังนี้

- การเติมสารลดแรงตึงผิว เพื่อเพิ่มการละลายของสารปนเปื้อนลงในน้ำ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเติมคีเลตติ้ง เอเจนต์ ซึ่งเป็นสารที่เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับ โลหะและช่วยให้การละลายดีขึ้น
- การเติมสารละลายกรดหรือด่าง เพื่อช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ ทำให้เป็นกลาง และทำลายสิ่งปนเปื้อน

2) การใช้สารละลายสกัดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ โดยสารอินทรีย์ที่ละลายได้จะเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในสารละลาย

3) การกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกด้วยอากาศ นิยมใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้โดยใช้ไอน้ำหรืออากาศมาประยุกต์ใช้ โดยอาศัยความร้อนและสภาวะสูญญากาศ หรือทั้งสองแบบมาช่วยเพิ่มอัตราการสกัด

สารที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยวิธีการล้างดิน (Soil washing) แต่ละชนิด มีประสิทธิภาพแตกต่างกันออกไป สารที่ใช้กำจัดโลหะหนักในงานวิจัยนี้ ก็คือ สารประเภทคีเลตติ้ง เอเจนต์ (Chelating agent) ได้แก่ โซเดียมอีดีทีเอ (Sodium EDTA : Na₂EDTA)

✳ **การล้างดินด้วยสารประเภทคีเลตติ้ง เอเจนต์ (Chelating agent)**

การล้างดินโดยวิธีนี้ จะอาศัยหลักการของการเกิดเป็นสารเชิงซ้อน (Complex) ของโลหะหนักที่ทำการศึกษากับ EDTA ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารที่ทำให้เกิดสารเชิงซ้อน (Complexing agent) หรือ ลิแกนด์ (Ligand) สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเป็นสารประกอบแบบคีเลต (Chelate compound) ซึ่งโครงสร้างมีลักษณะเป็นวงแหวนทำให้สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีความเสถียรสูงเนื่องจากการเกิดพันธะเคมีของลิแกนด์มีทิศทางทำให้ไอออนของโลหะอยู่ตรงกลางและล้อมรอบด้วยลิแกนด์

การเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหนักกับคีเลตติ้งเอเจนต์



$$K_{MY} = \frac{[MeL]}{[Me][L]}$$

K_{MY} = ค่าคงที่ของการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน

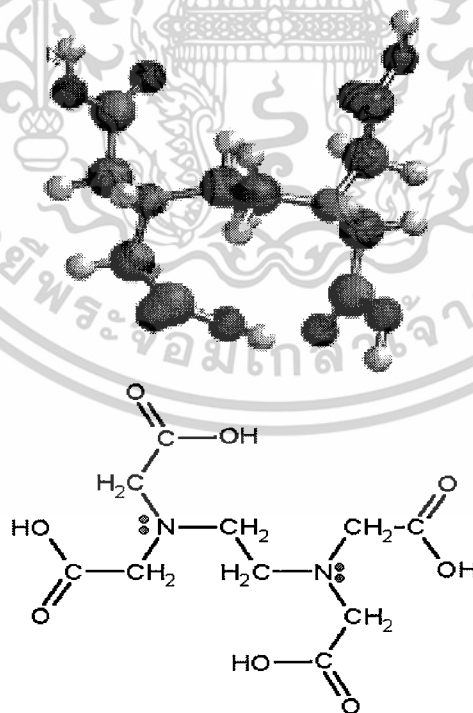
ปัจจัยที่ควรคำนึงถึง ในการล้างดินด้วยสารประเภทคีเลตติ้ง เอเจนต์ (Allen; et. al., 1995)

1. สารคีเลตติ้ง เอเจนต์ ควรมีความสามารถในการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร ในช่วงพีเอชที่กว้าง ที่อัตราส่วนลิแกนด์ต่อโลหะ เท่ากับ 1:1 โมลาร์
2. การย่อยสลายทางชีวภาพของสารคีเลตติ้ง และสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะควรต่ำ (ยกเว้น กรณีที่ใช้สารคีเลตติ้งที่ผ่านการใช้แล้วมาใช้ซ้ำ)
3. สารคีเลตติ้งควรมีความเป็นพิษและอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ
4. สารคีเลตติ้งที่ใช้ควรมีต้นทุนต่ำต่อการนำมาใช้

Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) (อรุณี, 2539)

โครงสร้างของ EDTA

EDTA เป็นสารประกอบประเภทอะมีน และอะมิโน โพลีคาร์บอกซิลิก มีสัญลักษณ์ย่อเป็น H_4Y มีสูตรเป็น $(CH_2COOH)_2-N-CH_2-CH_2-N-(CH_2COOH)_2$ ซึ่งโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.1

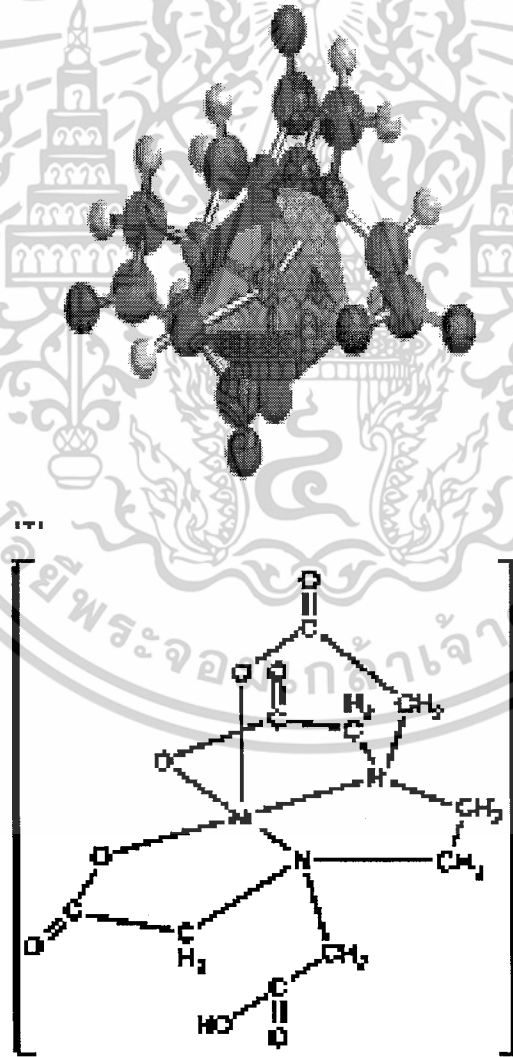


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EDTA เป็นสารประกอบประเภทกรดอะมิโน โพลีคาร์บอกซิลิกที่มีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อนชนิด Tetraprotic ที่มีค่า $K_1 = 1.02 \times 10^{-2}$ $K_2 = 2.14 \times 10^{-3}$ $K_3 = 6.92 \times 10^{-7}$ $K_4 = 5.50 \times 10^{-11}$ ดังนั้น $pK_1 = 2.0$, $pK_2 = 2.67$, $pK_3 = 6.16$ และ $pK_4 = 10.26$

EDTA แยกตัวให้โปรตอนไปทั้งหมด 4 ตัว ทำให้มีคู่อิเล็กตรอนอิสระอยู่ 6 คู่ ที่สามารถเกิดพันธะชนิดโคออดิเนตกับโลหะได้ แสดงว่า EDTA เป็นลิแกนด์ชนิดเฮกซะเดนเตตลิแกนด์ สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหลายตัวในอัตราส่วน 1: 1 และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะไอออนกับ EDTA จะเป็นวงห้าเหลี่ยม (Five member ring) ที่เสถียรมากมีลักษณะโครงสร้างดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะ โครงสร้างสารประกอบเชิงซ้อน EDTA กับ โลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ของการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ EDTA กับ ไอออนของโลหะต่าง ๆ (ศุภชัย, 2546)

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

ปัจจัยที่มีผลต่อการล้างดินด้วยคีเลตติ้ง เอเจนต์ (Mulligan; Yong and Gibbs 2001) ได้แก่

1. ชนิดและคุณสมบัติของคีเลตติ้ง เอเจนต์
2. ความเข้มข้นของคีเลตติ้ง เอเจนต์
3. อัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่ใช้
4. ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดโลหะหนัก

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องอีก เช่น ค่าพีเอชของสารละลาย , แคตไอออนชนิดอื่น ๆ ฯลฯ

2.8 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)

เทคนิคการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น สามารถหาปริมาณโลหะหนักได้ เนื่องจากวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้ โดยศึกษาสมบัติทางเคมีของโลหะและแร่ธาตุในดิน ซึ่งการศึกษานี้จะทำให้เข้าใจเคมีของดินที่สัมพันธ์ระหว่างโลหะและชนิดของดิน การเลือกสารเคมีที่มีความเหมาะสมในการสกัด จึงมีความเกี่ยวข้องกับแต่ละลำดับขั้นของการสกัด (เพ็ญใจ, 2532)

การวิจัยนี้ได้นำวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น 6 ขั้น มาใช้แยกโลหะที่สนใจออกเป็นส่วนๆ ตามการใช้สารละลายสกัด ที่มีความแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ปริมาณของโลหะที่ออกมาในแต่ละส่วนสามารถทำนายพฤติกรรมที่เป็นพิษของโลหะในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ การเคลื่อนที่ของโลหะหนักขึ้นกับ pH และการเกิดสารเชิงซ้อนกับลิแกนด์ ดังนั้นการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นจึงมี

เอ็กสตรัคชันเป็นเอ็กสตรัคชันที่สมบูรณ์ที่สุด สำหรับการสกัดโลหะหนักในดิน เมื่ออยู่ในดินแบบเชิงซ้อนเชิงซ้อนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำคัญในการศึกษาทางสิ่งแวดล้อม การสกัดที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาจากงานวิจัยหลายท่านซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ (รัตติกาล, 2542)

ขั้นที่ 1 : ส่วนที่ละลายน้ำได้ (Deionized H₂O, pH 7)

ปกติน้ำบริสุทธิ์จะไม่ใช้ตัวสกัดที่ใช้กัน แต่มักใช้เป็นสารสกัดในครั้งแรก เพื่อพิจารณาว่าโลหะหนักที่อยู่ในตัวอย่างนั้น สามารถละลายน้ำได้หรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการดูแลผลกระทบของสิ่งแวดล้อม เช่น ความเป็นพิษของไอออนโลหะที่มีความสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้หลังจากเกิดน้ำท่วม

ขั้นที่ 2 : ส่วนที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ (1.0 M NH₄OAc, pH7)

ส่วนนี้เกี่ยวข้องการแลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อม ผลของการแลกเปลี่ยนประจุบวกของโลหะที่จับตัวกันอย่างหลวม ๆ กับแร่ธาตุ ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ของดินและตะกอน คุณสมบัติของสารสกัดในส่วนนี้คือ สามารถละลายไอออนโลหะที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวอย่าง สารสกัดในส่วนนี้นิยมใช้สารที่เป็น Neutral salt, Neutral electrolytes และ Buffered neutral solutions ซึ่งนิยมใช้กันมากในส่วนนี้

ขั้นที่ 3 : ส่วนที่ละลายได้ในกรด (0.11 M CH₃COOH, pH 3)

คุณสมบัติของสารสกัดในส่วนนี้ ต้องสามารถละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับคาร์บอนेटได้ ซึ่งสารละลายอะซิเตตถูกนำมาใช้ โดยทำให้เป็นกรดที่ pH 3 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์โดยงานวิจัยนี้ได้นำกรดอะซิติก 0.11 M pH 3 มาใช้ในการสกัด โดยใช้อัตราส่วน สารตัวอย่างต่อสารสกัด เท่ากับ 1 : 25

ขั้นที่ 4 : ส่วนที่ถูกรีดิวซ์ได้ (0.1M NH₂CH₂.HCl in CH₃COOH 25% v/v pH 2)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การผสมของ Reducing agent และกรด ซึ่งปรกติใช้สกัดโลหะในปริมาณน้อยที่ยึดเกาะอยู่กับ Fe₂O₃ หรือ Mn₂O₃ ในดินและตะกอน ซึ่งรูปของออกไซด์นี้เรียกว่า Reducing phase โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง Amorphous และ Crystalline โดยปรกตินิยมใช้ NH₂OH.HCl ใน CH₃COOH 25% v/v กันมากในส่วนนี้ ค่า pH ที่ใช้จะต้องปรับให้มิต่ำน้อยกว่า 3 เพื่อจะเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ของ Reducing agent นอกจากนี้ Tessier และคณะ (ค.ศ. 1997) ยังได้รายงานไว้อีกว่า HOAc-NH₂OH.HCl ไม่สามารถรีดิวซ์สารอินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่างตะกอนได้ แต่มีความเฉพาะเจาะจงกับพวกโลหะออกไซด์ ดังนั้นชนิดของสารสกัดนี้ควรมีเฉพาะเจาะจงกับโลหะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไซด์และละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับโลหะด้วยพันธะที่แข็งแรง ซึ่งในส่วนใหญ่ปกติจะนิยมใช้ Hydroxylamine hydrochloride ใน Acetic acid เป็นสารสกัด

ขั้นที่ 5 : ส่วนที่ถูกลอกซีไดซ์ได้ (30% H_2O_2 Acidified with HNO_3 , pH 2/1.0 M NH_4OAc , pH 2)

การสกัดโลหะในดินและตะกอนที่เชื่อมอยู่กับสารอินทรีย์หลายแบบ เช่น การดูดซับ การเกิดสารเชิงซ้อน และการเกิดคีเลตภายใต้การสกัดเป็นลำดับจะมีสารที่เป็นตัวออกซีไดซ์ เพื่อใช้ละลายสารอินทรีย์หรือสารที่สามารถจะถูกออกซีไดซ์ได้ เช่น ออกไซด์และซัลไฟด์ของโลหะบางตัว ซึ่งทำให้ได้โลหะที่ละลายออกมาจากการสกัด นิยมนำ H_2O_2 ที่ถูกทำให้มีสภาพเป็นกรด มาใช้เป็นสารสกัดมากในส่วนนี้

ขั้นที่ 6 : ส่วนที่เหลือ (HF/HNO_3 , 2:3 v/v)

หลังจากที่สกัดเอาบางส่วนออกไปแล้ว ของแข็งที่เหลือส่วนใหญ่จะเป็นแร่ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ในส่วนนี้จึงใช้สารสกัดที่มีความเป็นกรดแรง เพื่อละลายซิลิเกต และส่วนที่เหลืออื่น ๆ ที่ไม่สามารถสกัดออกมาได้ด้วยสารสกัดที่มีความแรงอ่อน โดยปกติจะนำการผสมกันของกรดที่ร้อนมาใช้เพื่อย่อยส่วนที่เหลือให้เป็นสารละลายใส

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Papassiopi; Tambouris and Kontopoulos (1999) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการชะของ EDTA ที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักจากดินชนิด Calcareous โดยศึกษาเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของสารคีเลตดิงค์ เอเจนต์ทั้งสอง (Na_2 -EDTA และ Na_4 -EDTA) ที่นำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก (Pb, Zn, Cd และ As) ที่ปนเปื้อนในดินตัวอย่าง 7 ชนิด ทำการชะ 2 ครั้ง โดยให้ความเข้มข้นที่ใช้ในการชะแตกต่างกันไป จากการศึกษาพบว่า Na_4 -EDTA มีประสิทธิภาพในการสกัดน้อยกว่า Na_2 -EDTA

✓ **Sun; et. al. (2001)** ได้ศึกษาถึงการชะโลหะหนัก (Zn, Cd, Cu, Pb) ออกจากดินปนเปื้อน โดยใช้ EDTA ทำการทดลองแบบครั้งและแบบคอลัมน์ ในการทดลองแบบครั้ง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดมีค่าน้อยลง เนื่องจากการรบกวนจากโลหะชนิดอื่นที่อยู่ในดิน ส่วนวิธีชะผ่านคอลัมน์ พบว่า Pb เคลื่อนที่ได้น้อยที่สุดจากโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด โดย Cu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการวิจัยในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเคลื่อนที่ได้ดีที่สุด รองมาคือ Zn และ Cd ตามลำดับ จากวิธีการชะทั้งสองแบบ ทำให้ทราบถึงลักษณะของโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกกำจัด

Wu; et. al. (2003) ได้ศึกษาผลของ EDTA และ กรดอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ (LMWOA) ที่มีต่อ ค่าพีเอช อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) และโลหะหนักในสารละลายดินที่มาจากนาข้าวซึ่งมีการปนเปื้อนของ Cu, Zn, Pb และ Cd ผลการศึกษาพบว่า EDTA และ LMWOA ไม่มีผลต่อค่าพีเอชในสารละลายดิน แต่ EDTA จะมีผลในการเพิ่มค่า TOC ในสารละลายดินมากกว่า LMWOA จากการใช้ EDTA เข้มข้น 3 mmol kg^{-1} ทำให้ค่าความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในสารละลายดินมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับ EDTA LMWOA จะมีประสิทธิภาพในการชะโลหะได้น้อยกว่าการใช้ EDTA เป็นตัวสกัด ลำดับผลที่มีต่อความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะในสารละลายดิน เป็นดังนี้ สำหรับ Cu และ Pb : EDTA > Citric acid (CA) ~ Oxalic acid (OA) ~ Malic acid (MA) ส่วน Zn : EDTA > MA > CA > OA และสำหรับ Cd : EDTA > MA > CA > OA

Irene and Yang (1999) ได้ศึกษาการสกัดโลหะที่ปนเปื้อนในส่วนต่าง ๆ ของดินปนเปื้อนจริงและภาคตะกอนสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ คาร์บอนเนต ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส อินทรีย์วัตถุ และรูปของแร่ดินเหนียว ด้วย EDTA โดยศึกษาถึงผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดและความเข้มข้นของ EDTA ที่ใช้ พบว่า การสกัดจะเข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็วหลังจากสกัดเป็นเวลาประมาณ 30 นาที EDTA มีประสิทธิภาพในการสกัดโลหะใน 4 ส่วนของดินปนเปื้อน และการใช้ EDTA เข้มข้น 0.01 M สกัดโลหะหนัก จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการใช้ EDTA เข้มข้น 0.05 M หรือ 0.10 M โดยทั่วไป ประมาณร้อยละ 90 ของโลหะที่ถูกกำจัดออกจะถูกกำจัดออกโดย EDTA เข้มข้น 0.10 M การใช้ EDTA สกัดตะกั่วที่ปนเปื้อนในส่วนของคาร์บอนเนตอาจได้รับผลกระทบจากการเกิดเป็นสารประกอบตะกั่วคาร์บอนเนต เพื่อให้ผลของการทดลองมีค่ายอมรับได้ จึงควรทำการสกัดโดยใช้ EDTA เข้มข้น 0.10 M

Nowack; Kari and Krüger (2001) ได้ศึกษาถึงการเคลื่อนที่กลับของโลหะโดยสารเชิงซ้อนของโลหะอิตีทีโอ พบว่า การเคลื่อนที่กลับของโลหะเกิดขึ้นอยู่เสมอ ซึ่งลำดับของอัตราการเคลื่อนที่กลับของ Zn^{2+} จาก Goethite พบว่าการชะล้างโลหะด้วย EDTA ทำให้การแลกเปลี่ยนประจุบวกเป็นดังนี้ $\text{CaEDTA} > \text{Fe(III)EDTA}$ สะท้อนให้เห็นว่า Fe(III)EDTA มีปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนที่ช้า สำหรับ การเคลื่อนที่กลับของ Pb^{2+} จาก Goethite พบว่ามีอัตราดังนี้ $\text{Fe(III)EDTA} > \text{CaEDTA} > \text{ZnEDTA}$ ซึ่งเป็นที่น่าแปลกใจที่ Fe(III)EDTA มีอัตราการแลกเปลี่ยนที่เร็วที่สุดส่วนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่กลับของ Pb^{2+} จะอยู่ในวงจำกัดเท่านั้น ซึ่งเป็นผลมาจาก Hydrous ferric oxide เนื่องจากที่ pH 8 จะมีการดูดซับที่แรงของ Pb^{2+} ลำดับการเคลื่อนที่กลับของ Zn^{2+} จากตะกอนของ แม่น้ำธรรมชาติ พบว่า $CaEDTA > CuEDTA > Fe(III)EDTA$ อัตราการเคลื่อนที่กลับของ Zn^{2+} กับ $Fe(III)EDTA$ มีเพียงแค່ร้อยละ 12 ของอัตราที่เกิดกับ $CaEDTA$ ซึ่งอธิบายได้จากการประเมิณการเคลื่อนที่กลับของโลหะ-EDTA ชนิดต่าง ๆ

Garrabrants and Kosson (2000) ได้ศึกษาถึงการไ้ใช้คีเลตติงค์ (EDTA) ซึ่งเป็นสารที่สามารถชะล้างโลหะออกจากดินที่มีการปนเปื้อน การทดลองนี้ทำการทดลองแบบครั้ง (Batch) จะมีการควบคุม pH โดยจะใช้ความเข้มข้นของ EDTA 50 mM ตามอัตราส่วนสารละลายต่อของแข็ง เป็น 100 mL/g ใช้ช่วงเวลาในการสัมผัส 48 ชั่วโมง โดยใช้ดิน 4 ตัวอย่างที่มาจากที่เดียวกัน และใช้ EDTA เป็นตัวสกัด และตรวจสอบ As, Cd, Cu, Mn และ Pb โดยทำการวิเคราะห์ 2 ครั้ง ครั้งแรก pH 7 และครั้งที่ 2 pH 4 จากการเปรียบเทียบการใช้ pH ที่ต่างกันพบว่า สามารถกำจัดใช้ EDTA กำจัดโลหะหนักได้ทุกกรณี

Juang; Lin and Wang (2003) ได้ศึกษาในเรื่อง การกำจัดไอออนของโลหะ (Co^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+}) จากสารประกอบเชิงซ้อนโดยใช้กรดแก่เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ EDTA กรดไนตริก และกรดซัลฟูริก ซึ่งจากการทดลองพบว่าสารแต่ละชนิดมีความแตกต่างในเรื่องของค่าพีเอช (pH) ความเข้มข้นของสารละลายต่อโลหะหนัก ซึ่งจะทำกรวิเคราะห์แบบครั้ง (Batch) การแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะหนักกับเรซินอย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย และชนิดของรีเอเจนต์ที่ใช้ การทดลองนี้จะแสดงให้เห็นจาก Breakthrough curve ของเรซินที่ใช้กับกับ ไอออนของโลหะ พบว่าสารประกอบรีเอเจนต์ที่ใช้นั้นมีผลต่อข้อมูลของ Breakthrough curve เพียงเล็กน้อย

Voegelin; Barmettler and Kretzschmar (2003) ได้ศึกษาถึงการหลุดออกของโลหะหนักที่จับอยู่ในดิน โดยใช้วิธี Column leaching และ Batch extraction โลหะหนักที่สนใจคือ Zn, Cd, Pb และ Cu ดินที่ใส่ลงคอลัมน์ต้องเป็นดินที่มีคุณลักษณะเหมือนกัน ซึ่งถูกชะด้วย $CaCl_2$ 67 mL/g 0.01 M หลังจากนั้นจะใช้ $CaCl_2$ 1400 mL/g 0.01 M เป็นตัวปรับ pH ให้ได้ 3 ทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด จากการเปรียบเทียบด้วยวิธี Column leaching และ Batch extraction ซึ่งดินทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่ามีความเข้มข้นของ Zn, Cu, Pb และ Cd ในปริมาณที่ต่ำลง เมื่อดินถูกปรับ pH ให้เป็น 3 จะพบว่าอาจอยู่ในรูป $CaCO_3$ และเกิดปฏิกิริยาอื่น ๆ โดยเกิดการแลกเปลี่ยนประจุของโลหะกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิน ซึ่ง Ca สามารถแลกเปลี่ยนได้เมื่ออยู่ที่สภาวะเป็นกรด (pH 3) ทำให้สามารถกำจัดโลหะ Zn, Cd, Pb และ Cu จากดินที่มีการปนเปื้อนได้ระหว่าง 65 ถึง 90 %

Heil; et. al. (1999) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัด Pb ออกจากดินที่ปนเปื้อนด้วยวิธี Batch extraction โดยใช้ EDTA และวิธี Column extraction โดย Heil และคณะพบว่า การสกัดโดยใช้ EDTA หรือ ทีเลตติงค์ อื่น ๆ สามารถกำจัด Pb ออกจากดินที่ปนเปื้อนได้ อย่างไรก็ตาม การใช้วิธี Column leaching ของ Pb จากดินด้วย EDTA จุดประสงค์อย่างแรกที่ทำการศึกษาคือ เพื่อพัฒนาระบบการสกัดแบบครั้ง (Batch) และการวิเคราะห์แบบครั้ง (Batch) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสกัด Pb นี้ สามารถใช้เป็นแบบจำลองของการสกัด Pb ออกจากดินโดยใช้วิธี Column extraction จุดประสงค์ข้อที่ 2 คือ ต้องการดูถึงผลกระทบของ KOH และ CaCl_2 ที่เพิ่มขึ้นจากการที่ใช้ EDTA เป็นตัวสกัด Pb และตัวอย่างดินที่นำมาวิจัยนี้มาจากโรงงานรีไซเคิลแบตเตอรี่ การสกัดทั้ง 2 วิธีนี้ใช้สารละลาย EDTA เป็นตัวสกัดทั้ง 5 ความเข้มข้นที่ต่างกัน จะพบว่า Pb มีปริมาณลดลงเมื่อ pH ของ KOH เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม Pb จะลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อ CaCl_2 และ KOH เพิ่มขึ้น จากการทดลองสามารถชะสารละลายดินในคอลัมน์ได้ 6 ลิตร เป็นเวลา 2 ถึง 33 วัน ค่าการนำไฟฟ้าจะสัมพันธ์กับปริมาณ CaCl_2 ที่เหลือ และอาจเกิดก๊าซ CO_2 ระหว่างช่องว่างของดิน ซึ่งสังเกตได้จากการที่น้ำซึมผ่านเข้าไปในชั้นดินลดลง

Clin; et. al. (1995) ได้ศึกษาถึงการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้เทคนิคการล้างแบบ Batch washing โดยเลือกเก็บดิน 8 ตัวอย่างที่ Eastern united state ปริมาณ Pb ของดิน 8 ตัวอย่างมีความสัมพันธ์กันอย่างมากในเรื่องของ pH และสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน ประสิทธิภาพจากการล้างทั้งหมด 6 ครั้ง ในการกำจัด Pb ออกจากดิน โดยใช้วิธีแบบ Batch washing พบว่าสารที่ใช้ในการกำจัด HCL และ EDTA นั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ได้ดีมาก ซึ่งจากการทดลองนั้นทำให้ทราบว่าแนวโน้มในการกำจัด Pb ออกจากดินนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ล้างดิน ในการกำจัด Pb ด้วย CaCl_2 ซึ่งมีการแลกเปลี่ยนไอออนของ Ca^{2+} หรือสารประกอบพวกคลอไรด์ ถึงแม้ว่าการกำจัดโลหะหนักออกจากดินด้วย CaCl_2 ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ แต่การใช้ CaCl_2 ในการกำจัดโลหะหนักนั้นไม่เป็นการทำลายโครงสร้างของดิน ในการกำจัด Pb ที่ดี ต้องใช้สารละลายที่เหมาะสมกับลักษณะของดินที่ปนเปื้อน

Elliott and Brown (1989) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการสกัด Pb ที่ปนเปื้อนในดิน ด้วย Nitrioltriactic acid (NTA) เปรียบเทียบกับ Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) ดินที่นำมาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์มาจากบริเวณ โรงงานทำแบตเตอรี่ มี Pb ปนเปื้อนถึง 21 % แล้วใช้คีเลตติงค์ มีค่าต่ำกว่า 0.04 M ซึ่ง EDTA สามารถทำการสกัด Pb ได้ 10-30 % ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า NTA ดังนั้น ถ้าต้องการกำจัด Pb ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นควรใช้ความเข้มข้น EDTA ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นเช่นกัน โดยให้อัตราส่วนของ EDTA/Pb เป็น 2 : 1 ทำให้ Pb ถูกกำจัดออกมากกว่า 90% แต่เมื่อใช้คีเลตติงค์เป็น NTA ความสามารถในการกำจัด Pb จะลดลง เนื่องจาก NTA นั้นเป็นสารที่มีค่าความจำกััดในการชะล้างดิน จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ของ NTA น้อยกว่า EDTA

Reed; et. al. (1996) ได้ทำการศึกษาในเรื่องการชะล้างดินที่มีการปนเปื้อนโดยใช้ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) EDTA และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) นำดินร่วนปนทรายที่มีความเข้มข้นของ Pb ในตอนเริ่มต้นประมาณ 500-600 mg/kg มาวิเคราะห์ โดยใช้ 0.1 N (HCl) 0.01 M (EDTA) และ 1M (CaCl_2) ใช้วิธีการชะล้างดินแบบต่อเนื่อง (Colume continuous-flow) ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัด Pb โดยดูจากความเข้มข้นสุดท้ายของ Pb ที่เหลืออยู่โดยใช้ HCl EDTA และ CaCl_2 ดังนี้ 85% (77mg/kg Pb) 100% (≈ 0 mg/kg Pb) และ 78% (135 mg/kg Pb) ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วด้วย EDTA นั้นดีที่สุด ตามด้วย HCl และ CaCl_2

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

- 3.1.1.1 ไฮโดรมิเตอร์ มาตรฐาน ASTM No.1.152H อ่านสเกลในหน่วยกรัมต่อลิตร
- 3.1.1.2 พีเอชมิเตอร์ ยี่ห้อ Denver instrument model 250
- 3.1.1.3 เครื่องอะตอมมิกแอปซอพซันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu AA-680
- 3.1.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ Precisa 205A
- 3.1.1.5 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ยี่ห้อ Bruker axs รุ่น SRS 3400
- 3.1.1.6 เครื่องออดิซอร์ป-1 ยี่ห้อ Quanta Chrome
- 3.1.1.7 ตะแกรงร่อนขนาด 10 เมช และ 12 เมช
- 3.1.1.8 เครื่องเขย่าแนวนอน (Horizontal shaker) ยี่ห้อ Julabo รุ่น SW1
- 3.1.1.9 เครื่องปั่นเหวี่ยงพร้อมหลอด ยี่ห้อ Sanyo รุ่น CENTAUR 2
- 3.1.1.10 ตู้อบเครื่องแก้วและสารเคมี
- 3.1.1.11 เครื่องกรองระบบสุญญากาศ ยี่ห้อ Buchi B-169 vaccum-system
- 3.1.1.12 แผ่นให้ความร้อน
- 3.1.1.13 กระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร
- 3.1.1.14 กระดาษกรองขนาด 1 ไมโครเมตร
- 3.1.1.15 ขวดพลาสติกใส่สารตัวอย่าง ขนาด 60 และ 100 มิลลิลิตร
- 3.1.1.16 กระบอกตวง ขนาด 1 ลิตร
- 3.1.1.17 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 และ 250 มิลลิลิตร
- 3.1.1.18 ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3.1.1.19 บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 3.1.1.20 ปิเปต ขนาด 10, 15 และ 20 มิลลิลิตร
- 3.1.1.21 บีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
- 3.1.1.22 แท่งแก้วคน แบบ Plunger
- 3.1.1.23 เคซิเคเตอร์
- 3.1.1.24 เครื่องกวนแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.25 กระจกนาฬิกา

3.1.1.26 เครื่อง Microwave digester

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 โซเดียมอีดีทีเอ (Na_2EDTA) A.R.Grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

3.1.2.2 ไนตริก (HNO_3) 70% w/w A.R.Grade (บริษัท Ajax Chemical, Australia)

3.1.2.3 อะซิติค (CH_3COOH) 100% w/w A.R.Grade (บริษัท BDH Laboratory, England)

3.1.2.4 ไฮดรอกไซด์ลามีนไฮโดรคลอไรด์ ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) 99% w/w Commercial grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

3.1.2.5 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 30% m/m Commercial grade (บริษัท Merck, USA)

3.1.2.6 แอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) 98% w/w A.R.Grade (บริษัท J.T. Baker, USA)

3.1.2.7 ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) 50% w/w Commercial grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

3.1.2.8 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) A.R.Grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

3.1.2.9 ไฮโดรคลอริก (HCl) 37% w/w Commercial grade (บริษัท Fisher Chemicals, USA)

3.1.2.10 อื่น ๆ (ดูภาคผนวก ก.)

3.2 แหล่งที่มาของดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธี Grab sampling ที่ระดับความลึก 0-15 cm จาก 4 แห่ง ดังนี้

3.2.1 ดินในบริเวณอู่รถ (1) จาก ตำบล ลำนารายณ์ อำเภอ ชัยบาดาล จังหวัด ลพบุรี

3.2.2 ดินในบริเวณอู่รถ (2) จาก ตำบล ท่าหลวง อำเภอ ท่าหลวง จังหวัด ลพบุรี

3.2.3 ดินในบริเวณกองขยะ จาก ตำบล ชัยบาดาล อำเภอ ชัยบาดาล จังหวัด ลพบุรี

3.2.4 ดินในบริเวณแหล่งเก็บของเก่า จาก แขวง ตลาดกระบ้ง เขต ตลาดกระบ้ง จังหวัด กรุงเทพมหานคร

3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

นำตัวอย่างดินที่แห้งแล้วมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 12 เมช แล้วนำไปเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

พารามิเตอร์	วิธี/เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์
พีเอช	เครื่องวัดพีเอช
ความเป็นกรดของดิน	วิธีอิมิตัวด้วยแบเรียมคลอไรด์
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	วิธีทำให้อิมิตัวด้วยแอมโมเนีย
ปริมาณอินทรีย์สาร	วิธีการออกซิเดชันแบบเปียก
ปริมาณความชื้น	วิธีการวิเมตริก
การกระจายตัวของอนุภาค (ปริมาณทราย ซิลต์ และเคลย์)	เครื่องมือไฮโดรมิเตอร์
ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์	เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์
ปริมาณเหล็กออกไซด์	เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์
ปริมาณแมงกานีสออกไซด์	เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์
ความเข้มข้นของโลหะหนัก	เครื่องมือโครมาโทกราฟีไดเจสเตอร์

หมายเหตุ : ดูวิธีการทดลองในภาคผนวก ก.

3.4 ทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะออกจากดินโดยใช้สารละลายอีดีทีเอ

3.4.1 หาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ

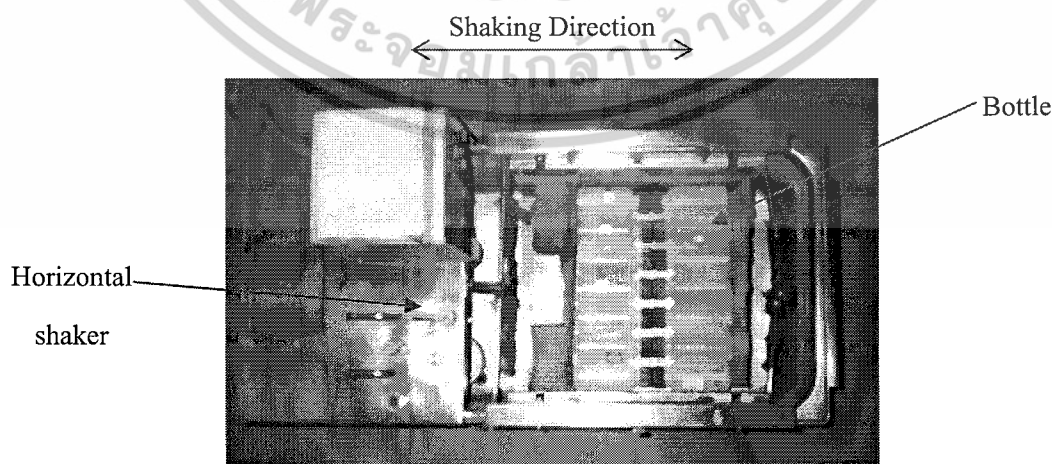
1. ใส่ตัวอย่างดินแห้งจำนวน 2 g ในขวดพลาสติกขนาด 60 mL แล้วเติมสารละลาย 0.01 M Na_2EDTA ในอัตราส่วน 1 g : 30 mL
2. นำไปเขย่าที่ 175 rpm. ที่อุณหภูมิห้อง นาน 120 นาที ด้วยเครื่องเขย่าแวนอน
3. ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 min แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 μm ด้วยเครื่องกรองระบบสุญญากาศ
4. วัดพีเอชของสารละลายที่กรองได้ แล้วปรับพีเอชให้น้อยกว่า 2 ด้วย 1:1 HNO_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS พร้อมทั้งคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะชนิดต่างๆ
6. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย เป็น 0.05 M, 0.10 M, 0.15 M และ 0.25 M ตามลำดับ
7. ทำแบลนด์โดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวสกัดแทนสารละลายอีดีทีเอ

3.4.2 การหาค่าอัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ

1. ใส่วัตถุอย่างดินแห้งจำนวน 2 g ในขวดพลาสติกขนาด 60 mL แล้วเติมสารละลาย Na_2EDTA ที่มีความเข้มข้นเหมาะสมเพียงค่าเดียว (ได้จากการทดลองที่ 3.4.1) ในอัตราส่วน 1 g : 30 mL
2. นำไปเขย่าที่ 175 rpm. ที่อุณหภูมิห้อง นาน 120 นาที ด้วยเครื่องเขย่าแนวนอน
3. ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 min แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 μm ด้วยเครื่องกรองระบบสุญญากาศ
4. วัดพีเอชของสารละลายที่กรองได้ แล้วปรับพีเอชให้น้อยกว่า 2 ด้วย 1:1 HNO_3
5. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS พร้อมทั้งคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะชนิดต่างๆ
6. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนของดินต่อสารละลาย เป็น 1:5, 1:10, 1:15, 1:20 และ 1:30 ตามลำดับ
7. ทำแบลนด์โดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวสกัดแทนสารละลายอีดีทีเอ



รูปที่ 3.1 เครื่องเขย่าดินตัวอย่างในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)

นำตัวอย่างดินทั้งก่อนล้าง และ หลังล้าง (ใช้ตัวอย่างที่ให้ประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุดเท่านั้น) มาทำการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นเพื่อศึกษาสัดส่วนของโลหะรูปแบบต่างๆ ในดิน ซึ่งลำดับการสกัดแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสกัดโลหะในรูปแบบต่างๆ ออกจากดินแบบเป็นลำดับขั้น
(ดูวิธีการทดลองในภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

จากการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินทั้ง 4 แหล่ง ได้แก่ ดินจากบริเวณอุ้งรถ (1) ดินจากบริเวณอุ้งรถ (2) ดินจากบริเวณกองขยะ และดินจากบริเวณที่เก็บของเก่า ซึ่งแต่ละแหล่งพบปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อน คุณสมบัติของดินและปริมาณโลหะหนักที่พบในดินตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 (ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

คุณสมบัติของดิน	ตัวอย่างดิน				
	ดินอุ้งรถ (1)	ดินอุ้งรถ (2)	ดินกองขยะ	ดินบริเวณที่เก็บของเก่า	
pH	6.88 ± 0.72	7.71 ± 0.07	6.67 ± 0.11	7.56 ± 0.41	
ความเป็นกรด (meq/100g)	0.47 ± 0.02	0.57 ± 0.01	0.52 ± 0.00	0.56 ± 0.01	
CEC (meq/100g)	1.30 ± 0.16	2.08 ± 0.47	3.91 ± 0.44	1.83 ± 0.30	
% OM	0.94 ± 0.05	2.07 ± 0.66	2.81 ± 0.63	1.06 ± 0.29	
%ความชื้น	4.72 ± 0.24	3.95 ± 0.51	5.32 ± 0.09	4.38 ± 0.02	
การกระจายตัว	% sand	81.25	82.50	78.75	88.75
	% silt	12.50	8.75	8.75	7.50
	% clay	6.25	8.75	12.5	3.75
ลักษณะเนื้อดิน	Loamy sand	Loamy sand	Sandy loam	Loamy sand	
% Al ₂ O ₃	13.83 ± 0.31	15.73 ± 0.15	21.47 ± 0.25	9.47 ± 0.05	
% MnO ₂	0.68 ± 0.01	0.31 ± 0.02	0.31 ± 0.01	0.25 ± 0.01	
% Fe ₂ O ₃	41.02 ± 1.87	8.80 ± 0.23	9.25 ± 0.08	36.15 ± 0.78	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ดินจากบริเวณอุ้ง (1)

ลักษณะของเนื้อดินเป็นดินทรายร่วน เนื้อหยาบ มีการระบายน้ำได้บ้าง จึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินดี และการดูดซับธาตุของดินมีค่าต่ำ ดังนั้นค่าปริมาณสารอินทรีย์และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) จึงมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างดินอื่น ๆ ซึ่งประจุบวกในดินที่แลกเปลี่ยน ได้แก่ Na^+ , K^+ , H^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} และ Al^{3+} (นัทธีรญา, 2545 อ้างจาก Hillel, 1998) โดยพิจารณาความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้จากเปอร์เซ็นต์ของ Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ MnO_2 ที่อยู่ในดินพบว่า Fe_2O_3 มีปริมาณที่มากที่สุดที่ดินชนิดนี้ คือเท่ากับ 41.02 ± 1.87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูง ค่าพีเอชมีค่าเป็นกลางเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ไม่มากนักทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ

4.1.2 ดินจากบริเวณอุ้ง (2)

ลักษณะเนื้อดินเป็นดินทรายร่วน สีดินมีสีน้ำตาลปนเทา เนื้อหยาบ มีความคล้ายกับลักษณะดินบริเวณอุ้ง (1) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่า CEC จะมีค่าสูงกว่าดินจากบริเวณอุ้ง (1) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่ดินอุ้ง (2) นั้นมีเปอร์เซ็นต์เคลย์ที่สูงกว่าดินจากบริเวณอุ้ง (1) ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์และค่า CEC ที่ได้สูงกว่าดินจากบริเวณอุ้ง (1) อีกทั้งเปอร์เซ็นต์ของ Al_2O_3 มีปริมาณสูงกว่าจึงทำให้ค่า CEC ในดินชนิดนี้มีค่าที่สูงตามไปด้วย

4.1.3 ดินจากบริเวณกองขยะ

ลักษณะของเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินมีสีดำหรือเทาแก่ มีส่วนของเศษขยะละเอียดที่ปนมากับดิน มีค่าพีเอชเป็นกลาง เปอร์เซ็นต์เคลย์สูงถึง 12.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีปริมาณการดูดซับสารอินทรีย์ได้ค่อนข้างดี และพบว่าดินยังคงมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ ดินมีเนื้อละเอียดทำให้ปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่าตัวอย่างดินชนิดอื่น ๆ ซึ่งลักษณะของเนื้อดินและปริมาณสารอินทรีย์จะเป็นตัวกำหนดค่า CEC ในดิน และมีเปอร์เซ็นต์ของ Al_2O_3 เท่ากับ 21.47 ± 0.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่าดินชนิดอื่น ส่งผลให้ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่ามากกว่าดินชนิดอื่นด้วย คือมีค่าเท่ากับ 3.91 ± 0.44 meq/100 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ดินบริเวณแหล่งเก็บของเก่า

ลักษณะของเนื้อดินเป็นดินทรายร่วน มีเปอร์เซ็นต์ Fe_2O_3 เท่ากับ 36.15 ± 0.78 เปอร์เซ็นต์จึงทำให้ดินมีสีเหลืองถึงน้ำตาลเข้ม คุณสมบัติต่าง ๆ จะคล้ายกับดินอุ้งรูด (1) และ ดินอุ้งรูด (2) แต่มีเปอร์เซ็นต์ซิลต์และเคลย์ที่ต่ำกว่า ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 1.83 ± 0.30 meq/100 g ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินเท่ากับ 1.06 ± 0.29 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 4.38 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักออกจากดินโดยใช้สารละลายอีดีทีเอ

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างดิน ที่นำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักโดยใช้เครื่อง AAS พบว่าส่วนใหญ่ในดินจากอุ้งรูด (1) ดินจากอุ้งรูด (2) และดินจากกองขยะ จะมีปริมาณแมงกานีสและเหล็กค่อนข้างสูง ส่วนดินจากแหล่งที่เก็บของเก่าจะพบทองแดง แมงกานีส และเหล็กเป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

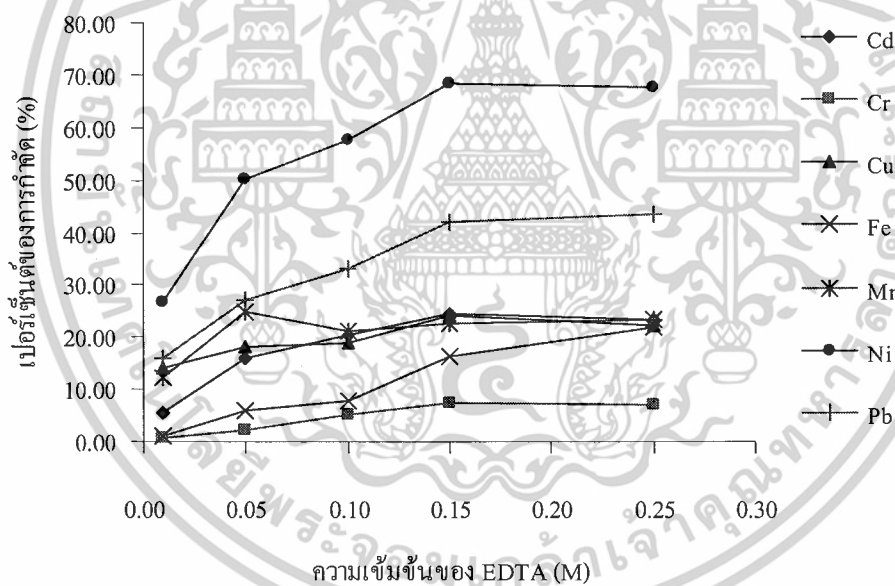
ตารางที่ 4.2 ปริมาณ โลหะหนักของดินตัวอย่าง

ชนิดโลหะหนัก	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (mg/kg)			
	ดินอุ้งรูด (1)	ดินอุ้งรูด (2)	ดินกองขยะ	ดินบริเวณที่เก็บของเก่า
แคดเมียม (Cd)	2.26 ± 0.32	1.66 ± 0.19	3.46 ± 0.73	7.29 ± 0.92
โครเมียม (Cr)	141.44 ± 20.98	34.54 ± 3.28	46.96 ± 7.85	97.41 ± 11.11
ทองแดง (Cu)	406.46 ± 51.11	115.23 ± 15.35	205.13 ± 38.55	$2,051.28 \pm 190.96$
เหล็ก (Fe)	$34,802.05 \pm 327.75$	$16,284.37 \pm 720.65$	$22,947.90 \pm 774.01$	$33,637.32 \pm 28.53$
แมงกานีส (Mn)	$2,062.51 \pm 476.02$	418.56 ± 50.48	724.22 ± 58.61	696.68 ± 33.39
นิกเกิล (Ni)	154.92 ± 4.40	248.89 ± 44.64	226.03 ± 11.64	248.89 ± 44.64
ตะกั่ว (Pb)	113.74 ± 12.72	293.40 ± 37.10	258.52 ± 69.05	507.70 ± 34.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 หาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ

จากการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ โดยใช้สารละลาย Na_2EDTA ในอัตราส่วน 1g ต่อ 30 mL ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.01 M แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การชะของโลหะแต่ละชนิด คือ แคดเมียม (Cd), โครเมียม (Cr), ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn), นิกเกิล (Ni) และตะกั่ว (Pb) แล้วเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย เป็น 0.05 M, 0.10 M, 0.15 M และ 0.25 M ตามลำดับ ได้ผลการทดลองเป็นดังนี้



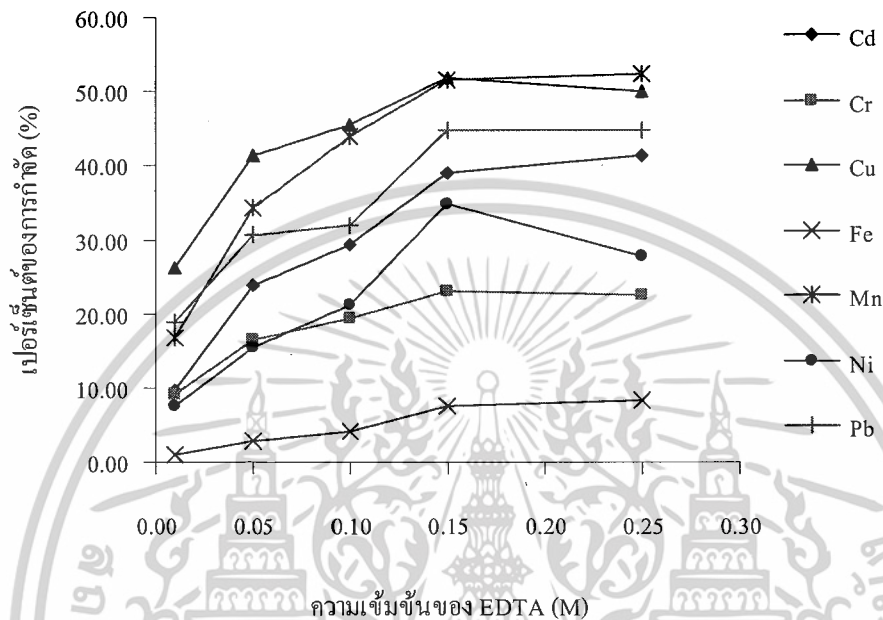
รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการชะโลหะหนักของตัวอย่างดินจากอูร์ถ (1) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ EDTA

จากรูปที่ 4.1 จะพบว่าประสิทธิภาพการชะล้างของสารละลาย EDTA ที่ใช้ชะล้างโลหะหนัก ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการชะล้างโลหะหนักโดยใช้สารละลาย EDTA ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น แนวโน้มดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเจนสำหรับประสิทธิภาพการชะล้างโลหะนิกเกิลและตะกั่ว ซึ่งประสิทธิภาพการชะล้างจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงมากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย EDTA ที่ใช้ในการชะล้าง จาก 0.01 M เป็น 0.05 M โดยที่ความเข้มข้นของสารละลาย EDTA เท่ากับ 0.01 M ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะนิกเกิลมีค่าไม่ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการชะล้างโลหะนิกเกิลด้วยสารละลาย EDTA ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.05 M ประสิทธิภาพการชะล้างเพิ่มขึ้นสูง เท่ากับ 50.25 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการชะล้างโดยใช้สารละลาย EDTA ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.10 M และ 0.15 M จะทำให้ประสิทธิภาพการชะล้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีก และจะค่อนข้างคงที่เมื่อทำการชะล้างโดยใช้สารละลาย EDTA ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.25 M

ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักชนิดอื่น เช่น ทองแดง และ โครเมียม จะมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน สำหรับโลหะแมงกานีส ประสิทธิภาพการชะล้างจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการชะล้างโดยใช้สารละลาย 0.05 M EDTA และประสิทธิภาพจะค่อนข้างคงที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย EDTA ที่ใช้ในการชะล้าง แต่สำหรับเหล็ก ประสิทธิภาพการชะล้างจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้สารละลาย EDTA ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น

* จากข้อมูล พบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะนิกเกิลของดินจากอุร์ด (1) มีค่ามากกว่าโลหะชนิดอื่น รองมาคือ โลหะตะกั่ว แต่สำหรับโลหะ โครเมียมและเหล็กจะมีประสิทธิภาพในการชะล้างที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องมาจากสัดส่วนของโลหะชนิดนั้นที่อยู่ในดิน

* (๐๗) / ๒๕๖๕ / ๒๕๖๖



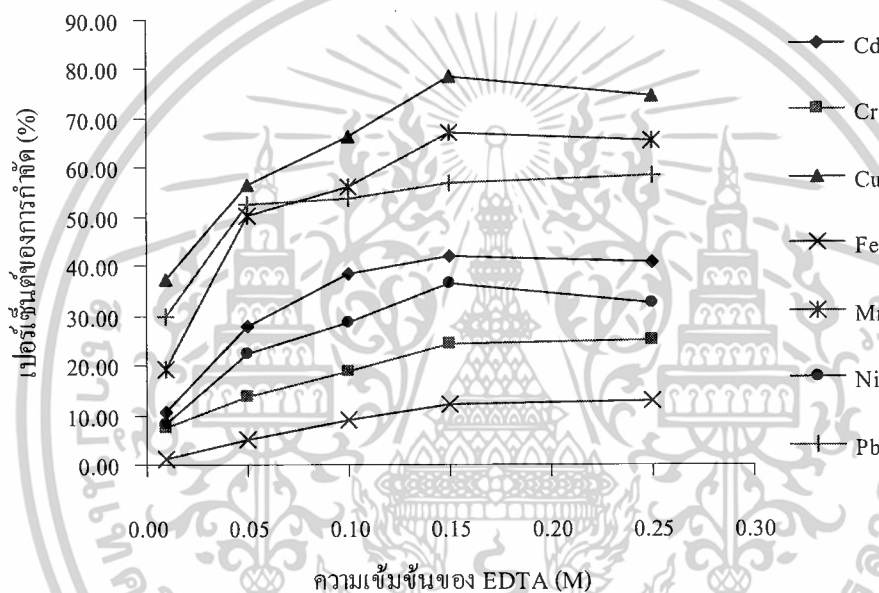
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการชะโลหะหนักของตัวอย่างดินจากอูร์ถ (2) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ EDTA

จากรูปที่ 4.2 จะพบว่าประสิทธิภาพการชะล้างของสารละลาย EDTA ที่ใช้ชะล้างโลหะหนักส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการชะล้างโลหะหนักโดยใช้สารละลาย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01 M, 0.05 M, 0.10 M, และ 0.15 M ตามลำดับ และประสิทธิภาพการชะล้างจะค่อนข้างคงที่เมื่อทำการชะล้างโดยใช้สารละลาย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.25 M นอกจากนี้จะพบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักส่วนใหญ่ (เช่น Cu, Mn, Cr, Pb) ของดินจากอูร์ถ (2) มีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักของดินอูร์ถ (1) เนื่องจากค่า CEC ของดินอูร์ถ (2) มีค่ามากกว่าดินจากอูร์ถ (1) ส่วนประสิทธิภาพการชะล้างเหล็กของดินจากอูร์ถ (2) จะมีประสิทธิภาพการชะล้างที่ต่ำเช่นเดียวกับกับดินจากอูร์ถ (1)

⇒ Papassiopi; Tambouris and Kontopoulos (1997) ได้ศึกษาถึงผลความเข้มข้นของสารละลาย EDTA ที่มีผลต่อการกำจัดโลหะแคดเมียมจากดินตัวอย่าง พบว่า ประสิทธิภาพมีค่าสูงขึ้นตามความ

เข้มข้นของสารละลาย EDTA (0.025 M, 0.05 M, 0.125 M และ 0.25 M) ที่ใช้ในการสกัด ซึ่งสอดคล้องกับผลการชะล้าง โลหะแคดเมียมออกจากดินตัวอย่าง

จากข้อมูลพบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะทองแดงและแมงกานีสของดินจากอุรุด (2) มีค่าที่ค่อนข้างสูง รองมาคือ ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล และ โครเมียม ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการชะล้างเหล็กมีค่าต่ำที่สุด



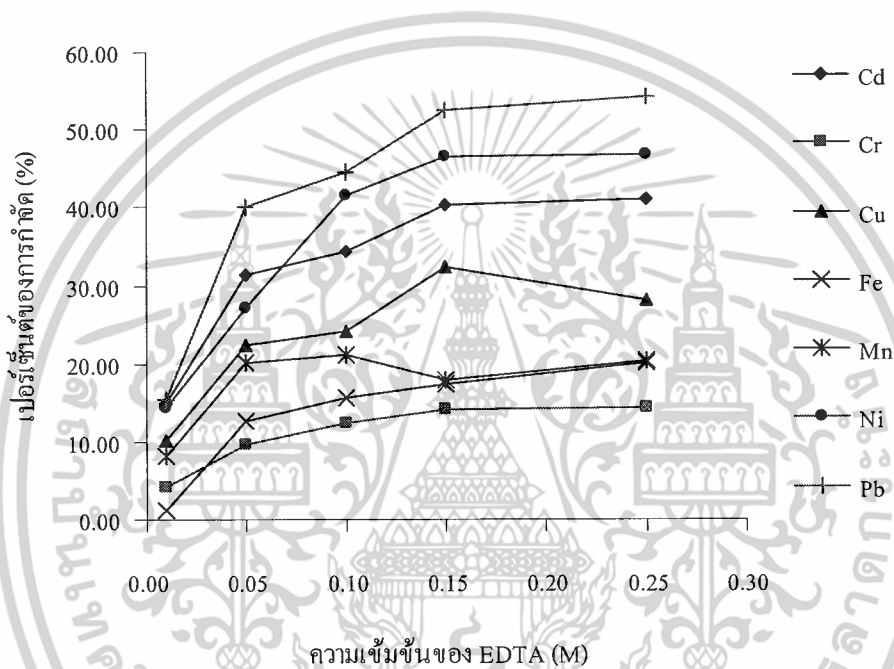
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักของตัวอย่างดินจากกองขยะ ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ EDTA

จากรูปที่ 4.3 จะพบว่าประสิทธิภาพการชะล้างของสารละลาย EDTA ที่ใช้ชะล้างโลหะหนัก ส่วนใหญ่ของดินจากกองขยะจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการชะล้างโลหะหนักโดยใช้สารละลาย EDTA ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น เช่นเดียวกับกับดินจากอุรุดทั้งสอง และประสิทธิภาพจะค่อนข้างคงที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย EDTA ที่ใช้ในการชะล้าง จาก 0.15 M เป็น 0.25 M

นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการชะล้างโลหะตะกั่วและแมงกานีสจะเพิ่มขึ้นสูงมากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย EDTA ที่ใช้ในการชะล้าง จาก 0.01 M เป็น 0.05 M แต่สำหรับตะกั่ว ประสิทธิภาพการชะล้างจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย EDTA ที่ใช้ชะล้าง มากกว่า 0.05 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลจะพบว่า ทองแดง แมงกานีส และตะกั่ว มีประสิทธิภาพการชะล้างที่สูงกว่าโลหะชนิดอื่น ส่วนประสิทธิภาพการชะล้างหลักของดินจากกองขยะ มีประสิทธิภาพการชะล้างที่ต่ำ เช่นเดียวกันกับดินจากอุ้งรถทั้งสอง



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการชะโลหะหนักของตัวอย่างดินบริเวณแหล่งเก็บของเก่าที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ EDTA

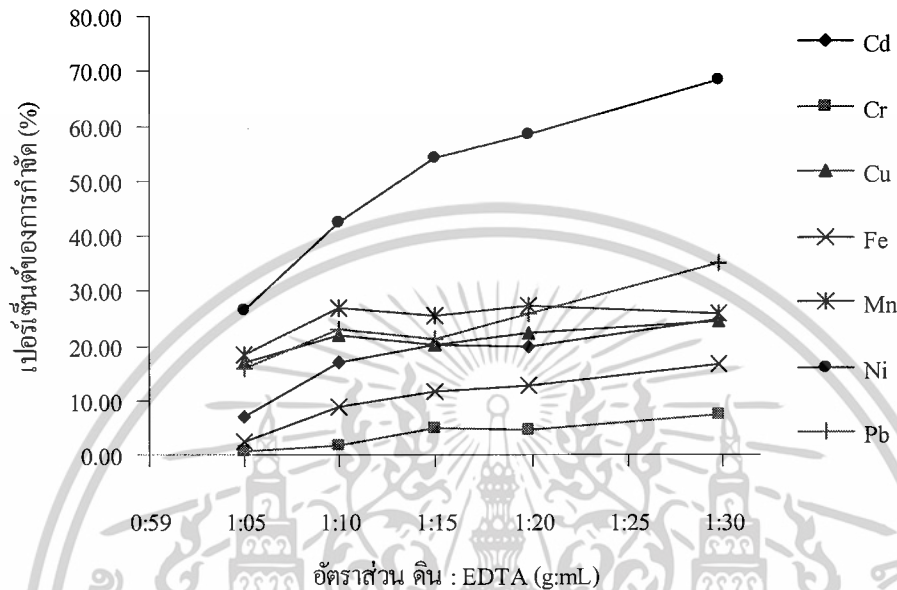
จากรูปที่ 4.4 จะพบว่าประสิทธิภาพการชะล้างของสารละลาย EDTA ที่ใช้ชะล้างโลหะหนัก ส่วนใหญ่ของดินจากแหล่งเก็บของเก่าจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการชะล้างโลหะหนักโดยใช้สารละลาย EDTA ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น เช่นเดียวกับดินจากอุ้งรถทั้งสองและจากกองขยะ และประสิทธิภาพจะค่อนข้างคงที่เมื่อใช้สารละลาย EDTA ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.25 M ในการชะล้างโลหะหนักซึ่งประสิทธิภาพที่ได้จะใกล้เคียงกับการใช้สารละลาย EDTA เข้มข้น 0.15 M ในการชะล้างโลหะหนัก นอกจากนี้จะพบว่าการใช้สารละลาย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.05 M มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะชะล้างโลหะแมงกานีสจากดินแหล่งเก็บของเก่า

จากข้อมูล พบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างตะกั่วในดินแหล่งเก็บของเก่าจะมีค่าที่มากกว่า ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักชนิดอื่น ส่วนการชะล้างโลหะโครเมียมและเหล็กจะมีประสิทธิภาพการชะล้างที่น้อยกว่าโลหะชนิดอื่น อันเนื่องจาก สัดส่วนของโลหะโครเมียมและเหล็กที่อยู่ในดินส่วนมากจะอยู่ในรูปออกไซด์ (Oxidizable) และรูปที่เหลือ (Residual) ซึ่งโดยทั่วไปการชะล้างโลหะหนักออกจากสองส่วนนี้ทำได้ยากกว่าโลหะที่อยู่ในรูปอื่น (Sun; et. al. 2001)

จากผลการทดลองหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของสารละลาย EDTA ที่ใช้ในการชะล้างโลหะหนักจากดินตัวอย่างทั้งสี่แหล่ง พบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย EDTA ที่ใช้ในการชะล้างโลหะหนัก จากการทดลองทั้ง 5 ความเข้มข้น คือ 0.01 M, 0.05 M, 0.10 M, 0.15 M และ 0.25 M ความเข้มข้นของสารละลาย EDTA ที่เหมาะสมที่สุดในการชะโลหะหนักจากดินตัวอย่างทั้งสี่แหล่ง คือ 0.15 M เนื่องจากการชะล้างโลหะหนักส่วนใหญ่เมื่อใช้สารละลาย EDTA เข้มข้น 0.25 M พบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างที่ได้ไม่แตกต่างจากการใช้สารละลาย EDTA เข้มข้น 0.15 M ในการสกัดมากนัก แต่โดยทั่วไปแล้วการใช้สารละลาย EDTA เข้มข้นเพียง 0.10 M ในการชะล้างโลหะหนัก สามารถให้ประสิทธิภาพการชะล้างสูงเช่นเดียวกัน (Irene and Yang, 1999)

4.2.2 หาค่าอัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ

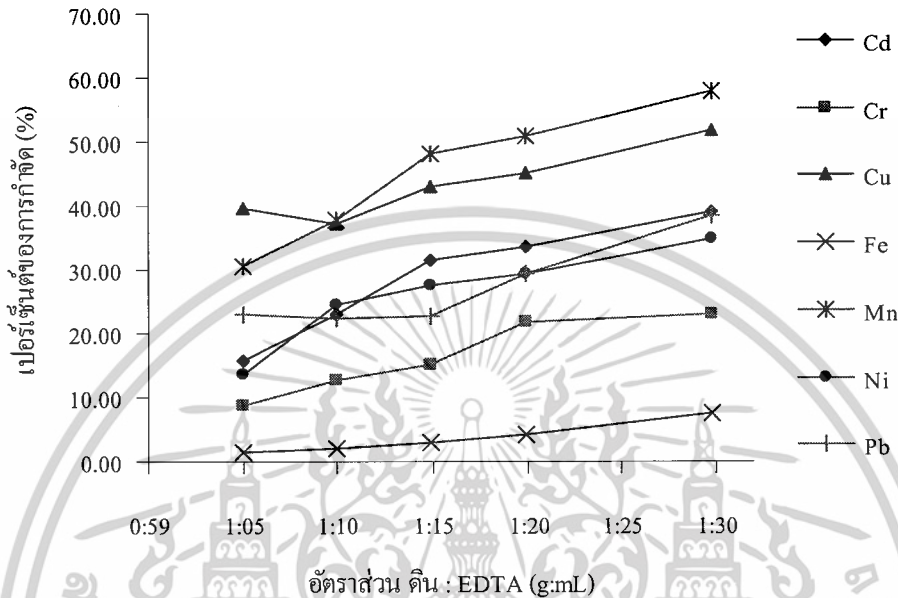
จากการทดลองเพื่อหาค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ โดยใช้สารละลาย Na_2EDTA ที่มีความเข้มข้นเหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.1 คือ สารละลาย Na_2EDTA ที่มีความเข้มข้นความเข้มข้น 0.15 M โดยมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่อัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 1 g ต่อ 5 mL, 1 g ต่อ 10 mL, 1 g ต่อ 15 mL, 1 g ต่อ 20 mL และ 1 g ต่อ 30 mL ตามลำดับ แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การชะโลหะแต่ละชนิดคือ แคดเมียม (Cd), โครเมียม (Cr), ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn), นิกเกิล (Ni) และตะกั่ว (Pb) ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการชะโลหะหนักของตัวอย่างดินจากอุ้งรถ (1) ที่ระดับอัตราส่วนต่างๆ ของ ดิน : EDTA

จากรูปที่ 4.5 พบว่า เมื่อทำการชะล้างโลหะหนักโดยใช้สารละลาย EDTA ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักเกิด แคดเมียม เหล็ก และโครเมียมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักเกิดมีค่ามากที่สุด โดยที่อัตราส่วนดินต่อสารละลาย เท่ากับ 1:30 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักเกิดมีค่าสูงถึง 68.45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าอัตราส่วนอื่นที่ทำการวิเคราะห์มาก

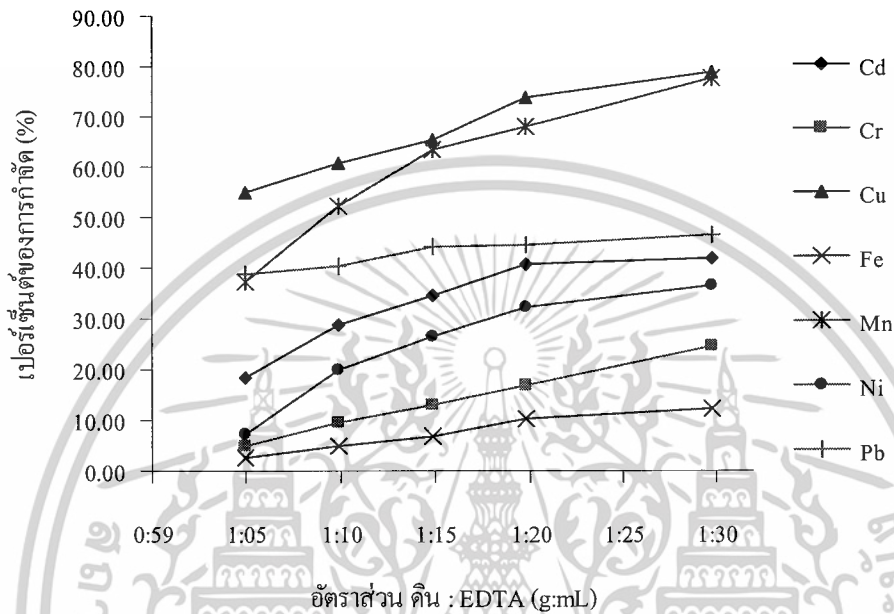
ส่วนประสิทธิภาพการชะล้างโลหะแมงกานีส ทองแดง และตะกั่วจะค่อนข้างคงที่ ซึ่งแสดงว่า อัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่ใช้ในการชะล้างโลหะมีผลน้อยต่อประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักคือ Mn, Cu, และ Pb ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Robert W. Peters (1999)



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการชะโลหะหนักของตัวอย่างดินจากอู่รถ (2) ที่ระดับอัตราส่วนต่างๆ ของ ดิน : EDTA

จากรูปที่ 4.6 จะพบว่าประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินจากอู่รถ (2) โดยสารละลาย EDTA จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของดินต่อสารละลายที่ใช้ในการชะล้าง โดยการชะล้างโลหะแมงกานีสและทองแดง ด้วยอัตราส่วนดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:30 จะให้ประสิทธิภาพการชะล้างที่ค่อนข้างสูง คือ มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการชะล้างโลหะแคดเมียม ตะกั่ว นิกเกิล และโครเมียม ด้วยอัตราส่วนดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:30 จะมีค่าอยู่ในช่วง 20 - 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการชะล้างโลหะแคดเมียมโดยใช้ปริมาณสารละลาย EDTA ที่สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะแคดเมียมออกจากดินมีค่าสูงขึ้นด้วย (Papassiopi; Tambouris and Kontopoulos 1997)

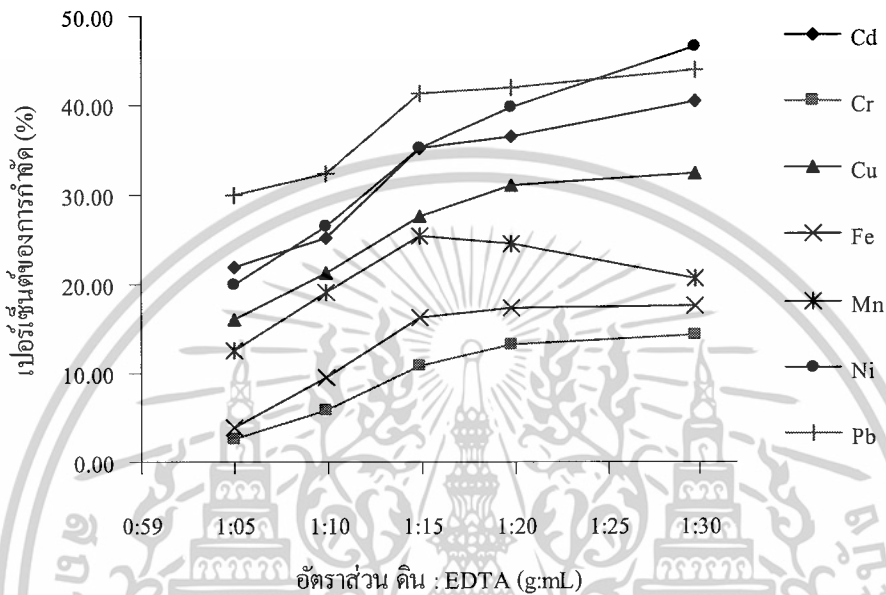
สำหรับประสิทธิภาพการชะล้างเหล็กในสถานะที่อัตราส่วนดินต่อปริมาณสารละลายที่สูงขึ้น จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:30



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการชะโลหะหนักของตัวอย่างดินจากกองขยะ ที่ระดับอัตราส่วนต่างๆ ของ ดิน : EDTA

จากรูปที่ 4.7 จะพบว่าประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักส่วนใหญ่ มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับดินจากอุรุด (2) ที่อัตราส่วนดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:30 ประสิทธิภาพการชะล้างของโลหะทองแดงและแมงกานีสมีค่าเท่ากับ 78.69 และ 77.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพการชะล้างโลหะชนิดอื่น และประสิทธิภาพการชะล้างเหล็กมีค่าน้อยที่สุด

จากกราฟ จะพบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างตะกั่วค่อนข้างที่จะคงที่เมื่อแปรค่าอัตราส่วนดินต่อสารละลาย แสดงว่า อัตราส่วนดินต่อสารละลายนั้นมีผลต่อค่าประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักไม่มากนัก (Kim; Lee and Ong 1997)



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการชะโลหะหนักของตัวอย่างดินบริเวณแหล่งเก็บของเก่า ที่ระดับอัตราส่วนต่าง ๆ ของ ดิน : EDTA

จากรูปที่ 4.8 จะพบว่าประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักเกิด แคดเมียม ทองแดง และโครเมียม มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนดินต่อสารละลาย โดยที่อัตราส่วนดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:30 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักเกิดมีค่าเท่ากับ 46.45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่น ส่วนประสิทธิภาพการชะล้างตะกั่วและเหล็กจะค่อนข้างที่จะคงที่ที่อัตราส่วนดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:15 เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายที่ใช้ในการชะล้างสูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะล้างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่สำหรับประสิทธิภาพการชะล้างของโลหะแมงกานีสจะมีค่ามากที่สุดที่อัตราส่วนดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:15 และเมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายสูงขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะแมงกานีสลดลง

จากข้อมูลด้านประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของดินต่อสารละลาย จากดินตัวอย่างทั้งสี่ชนิด พบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักทุกชนิดจากดินอุรธ (2) และโลหะหนักส่วนมากที่วิเคราะห์จากดินทั้งสามแหล่งที่เหลือ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของสารละลายที่ใช้ในการชะล้าง แต่ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักบางชนิดของดินจากอุรธ (1) กองขยะ และแหล่งเก็บของเก่า มีแนวโน้มที่ไม่เป็นไปดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เพื่อให้ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักจากดินตัวอย่างทั้งสี่แหล่งมีค่าที่เหมาะสมที่สุดจึงควรเลือกอัตราส่วนที่มีผลต่อการชะที่ดีที่สุด (Andrew; Garrabrants and David 2000) นั่นก็คืออัตราส่วนดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:30 นั่นเอง

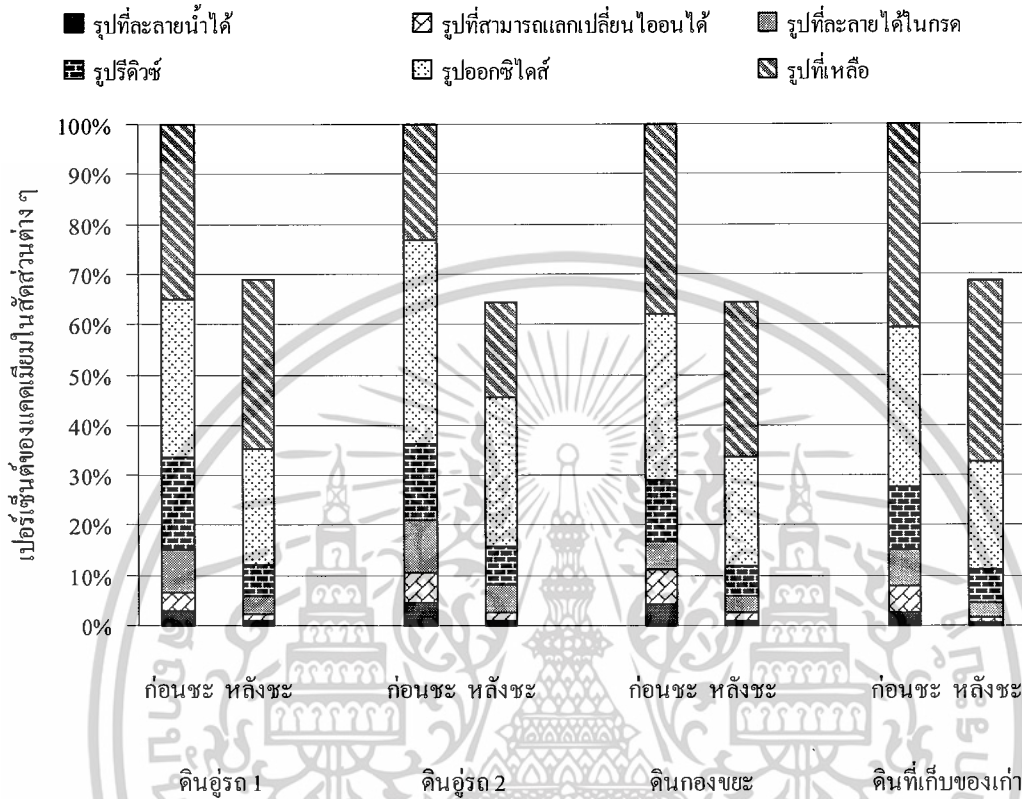
ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่ควรนำมาประยุกต์ใช้ในการชะล้างโลหะหนักเพื่อศึกษาถึงสัดส่วนของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ของดินตัวอย่างทั้งสี่แหล่ง จึงควรทำการชะล้างโลหะหนักโดยใช้สารละลาย EDTA ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.15 M และใช้อัตราส่วนดินต่อสารละลาย เท่ากับ 1:30

4.3 การศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักในรูปต่าง ๆ ในดินโดยการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น 6 ขั้นตอน มาใช้เพื่อแยกโลหะหนักที่สนใจ ออกเป็นส่วน ๆ ตามการใช้สารละลายสกัดที่มีความแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่ออกมาในแต่ละขั้นสามารถใช้ทำนายพฤติกรรมของโลหะหนักในตัวอย่างได้ โดยทำการทดลองทั้งก่อนและหลังการชะล้างโลหะหนักออกจากดิน ผลการทดลองแสดงดังนี้

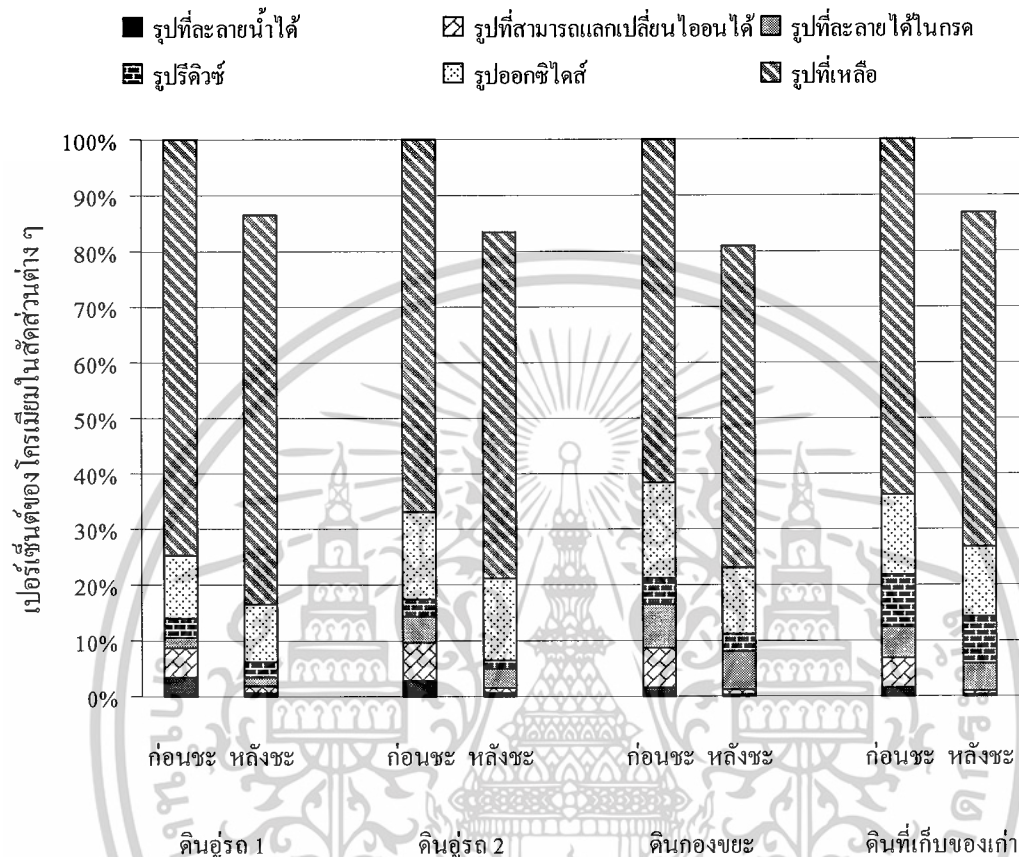
จากรูปที่ 4.9 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นก่อนทำการชะล้างโลหะแคดเมียมออกจากตัวอย่างดินทั้งสี่ชนิด ซึ่งให้เห็นว่าโลหะแคดเมียมอยู่ในรูปออกซิไดซ์ (31.44 - 40.71 เปอร์เซ็นต์) และรูปที่เหลือ (23.42 - 40.44 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่าที่อยู่ในรูปอื่น ๆ

ปริมาณแคดเมียมในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ แม้จะมีปริมาณน้อยในดินเมื่อเทียบกับแคดเมียมรูปอื่น ๆ แต่เมื่อทำการชะล้างดินด้วยสารละลาย EDTA พบว่าประสิทธิภาพการชะล้างโลหะแคดเมียมในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ มีค่าสูงกว่าการชะล้างโลหะแคดเมียมออกจากรูปอื่น ๆ ซึ่งสามารถชะล้างแคดเมียมได้ประมาณ 64.27 - 78.41 เปอร์เซ็นต์สำหรับโลหะแคดเมียมในรูปที่ละลายในน้ำได้ และประมาณ 62.74 - 81.16 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแคดเมียมในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ เนื่องจากโลหะแคดเมียมในรูปนี้ยึดเกาะอยู่กับ



รูปที่ 4.9 สัดส่วนแคดเมียมในดินตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการชะล้าง

สารอินทรีย์และอนินทรีย์ด้วยพันธะที่อ่อน ซึ่งเป็นรูปที่สามารถชะโลหะแคดเมียมออกมาได้โดยง่าย โดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ EDTA ส่วนโลหะแคดเมียมในรูปที่ละลายน้ำจะอาศัยน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ดีในการชะล้าง ส่วนโลหะแคดเมียมในรูปที่ละลายได้ในกรดและรูปปริควิวซ์ สารละลาย EDTA สามารถชะล้างได้ประมาณ 40 - 60 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับโลหะแคดเมียมที่อยู่ในรูปออกซิไดซ์และรูปที่เหลือ สารละลาย EDTA สามารถชะล้างได้น้อยกว่าในรูปอื่น ๆ เนื่องจากโลหะแคดเมียมอาจยึดติดอยู่กับซัลไฟด์และออกไซด์ในดินด้วยกลไกหลายชนิดเช่น การดูดซับ และการเกิดสารเชิงซ้อน จึงเป็นการยากที่สารละลาย EDTA จะไปฟอร์มตัวด้วย ทำให้ยากต่อการชะล้างโลหะในรูปนี้

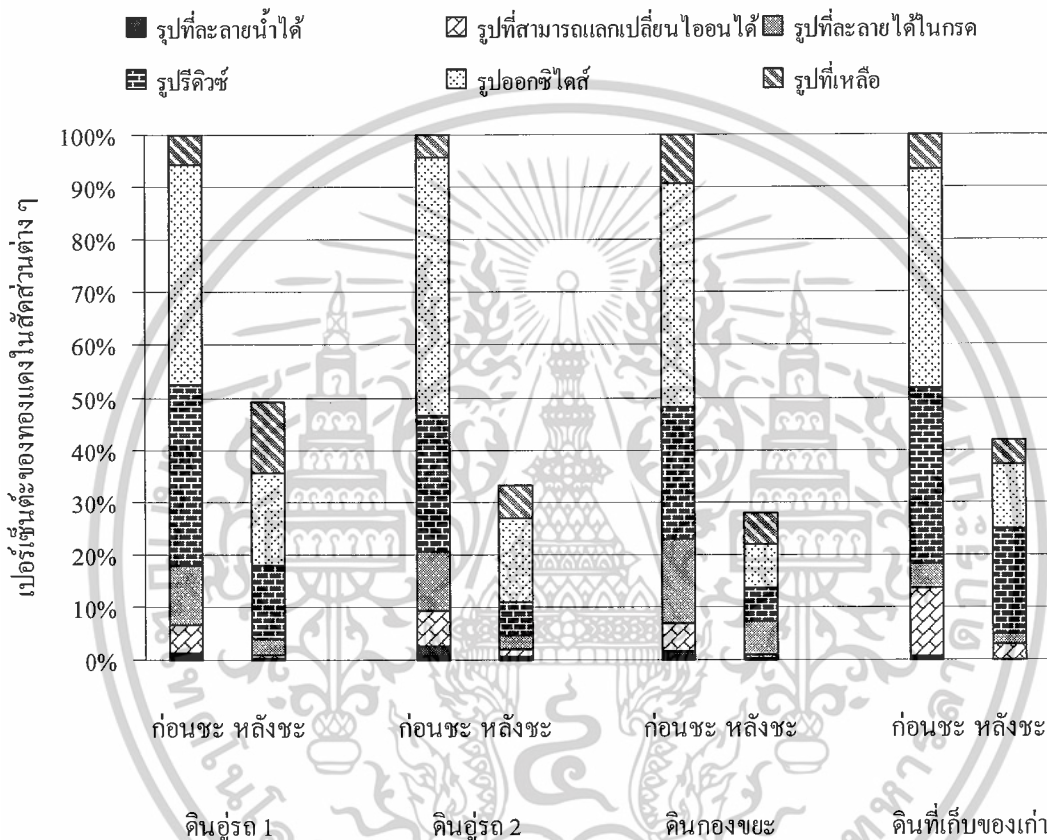


รูปที่ 4.10 สัดส่วนโครเมียมในดินตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการชะล้าง

จากรูปที่ 4.10 จะพบว่า ก่อนทำการชะล้างดินตัวอย่างทั้งสี่ชนิด โลหะโครเมียมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่เหลือ ซึ่งพบประมาณ 61.44 - 74.59 เปอร์เซ็นต์ รองมา คือ รูปออกซิไดส์ ซึ่งพบประมาณ 11.48 - 17.28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโลหะโครเมียมในรูปอื่น ๆ จะมีสัดส่วนที่น้อยลง โดยโลหะโครเมียมในรูปที่ละลายน้ำได้มีปริมาณน้อยที่สุด ซึ่งพบประมาณ 1.56 - 3.34 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการชะล้างด้วยสารละลาย EDTA พบว่าประสิทธิภาพการชะล้างโลหะโครเมียมในรูปที่ละลายน้ำได้ มีค่ามากที่สุด คือ ประมาณ 82.61 - 85.01 เปอร์เซ็นต์ แต่การชะล้างโลหะโครเมียมในรูปที่เหลือจะมีประสิทธิภาพการชะล้างที่น้อยที่สุด ประมาณ 5.60 - 7.19 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอาจเกิดพันธะกับซิลิเกตและมีโครงสร้างที่แข็งแรงยากต่อการชะ หลังการชะจึงพบว่าประสิทธิภาพจากการชะล้างโลหะโครเมียมในส่วนนี้มีค่าต่ำกว่าการชะล้างโลหะโครเมียมในรูปอื่น ๆ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะโลหะโครเมียมมีค่าที่ต่ำด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีผลสอดคล้องกับผลการทดลองหาค่าสถานะที่เหมาะสมต่อการชะล้างโลหะหนักโดยประสิทธิภาพการชะล้างที่ได้มีค่าที่ต่ำเช่นเดียวกัน



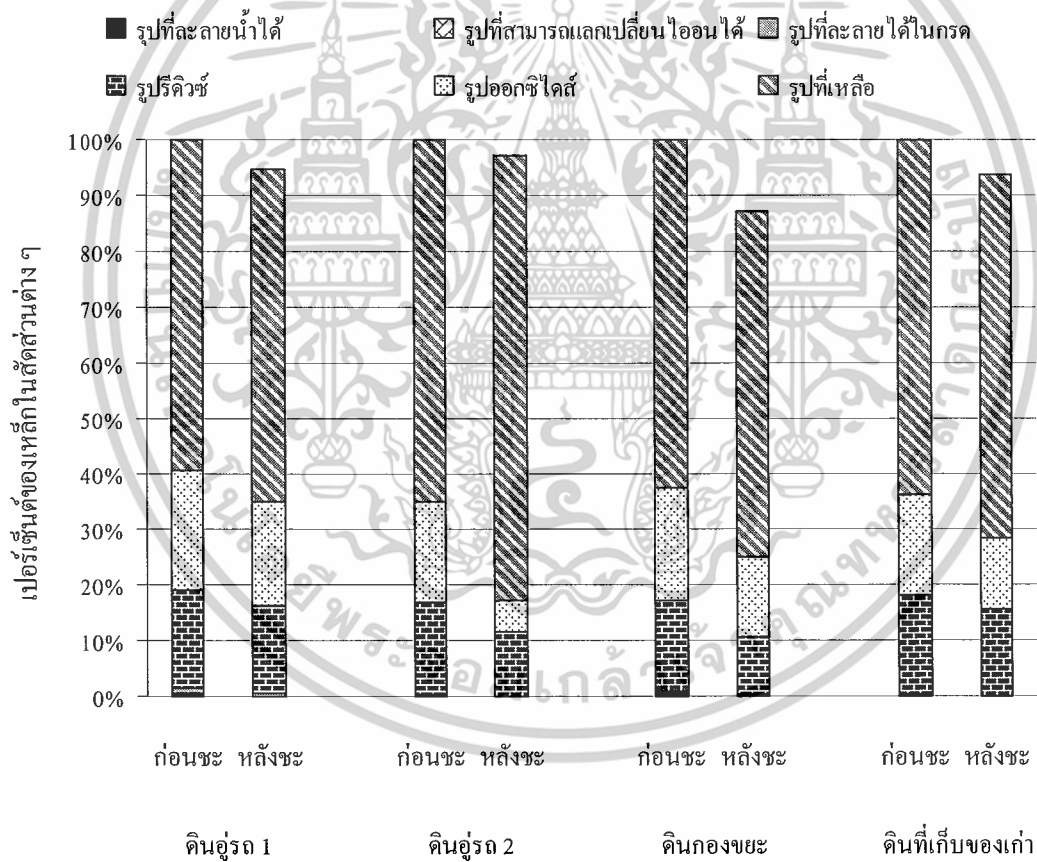
รูปที่ 4.11 สัดส่วนของทองแดงในดินตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการชะล้าง

จากรูปที่ 4.11 พบว่าสัดส่วนของทองแดงที่อยู่ในดินตัวอย่างทั้งสี่แหล่งก่อนทำการชะล้าง โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปออกซิไดส์เป็นส่วนมาก ซึ่งพบประมาณ 41.42 - 49.19 เปอร์เซ็นต์ รองมาจะอยู่ในรูปรีติวซ์ ซึ่งจะพบประมาณ 25.45 - 34.58 เปอร์เซ็นต์ ส่วนทองแดงในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่เหลือจะพบในปริมาณที่น้อย

แต่เมื่อทำการชะล้างดินตัวอย่างทั้งสี่แหล่ง พบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างทองแดงในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มีค่ามากที่สุด จากกราฟจะเห็นได้ว่า ภายหลังจากการชะล้างดินตัวอย่างจะพบทองแดงในรูปที่ละลายน้ำได้ในปริมาณที่น้อยลงมาก และยังพบว่าทองแดงในรูปที่เหลือของดิน

ตัวอย่างจากอูร์ถทั้งสองมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากทองแดงในรูปอื่น ๆ เปลี่ยนมาอยู่ในรูปนี้มากขึ้น จึงเป็นเหตุให้เปอร์เซ็นต์การชะล้างมีค่าลดลง

นอกจากนี้ พบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sun; et. al. (2001) เสนอว่า ถ้าด้วยการลดลงของปริมาณทองแดงในสัดส่วนต่าง ๆ ภายหลังจากการชะล้างด้วยสารละลาย EDTA จะเป็นดังนี้คือ รูปรีดิวซ์จะลดลงมากกว่ารูปออกซิไดซ์ รูปออกซิไดซ์ลดลงมากกว่ารูปที่ละลายในกรด และรูปที่ละลายในกรดจะลดลงมากกว่ารูปที่เหลือ และจากการที่ทองแดงในรูปเหล่านี้มีการลดลงที่มาก ทำให้สัดส่วนโดยรวมของทองแดงในดินตัวอย่างแต่ละชนิดมีปริมาณที่น้อยลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะล้างทองแดงจากดินตัวอย่างทั้งสี่มีค่าที่สูง



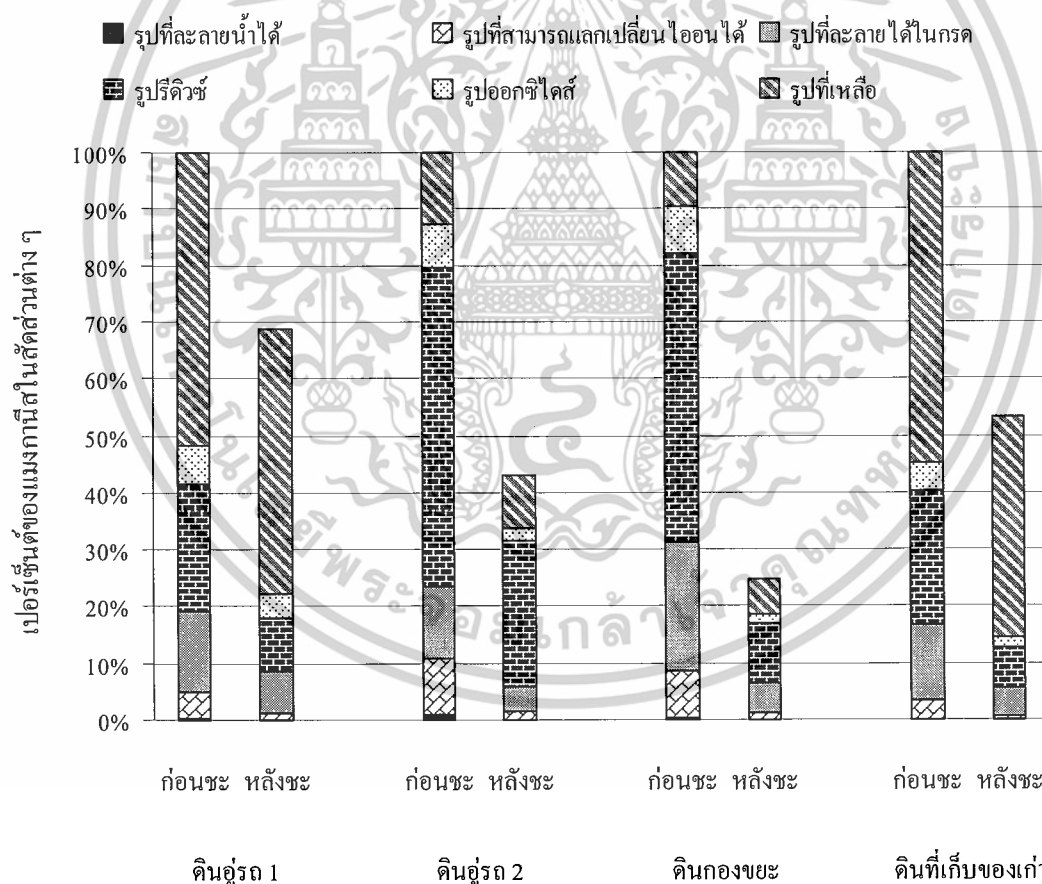
รูปที่ 4.12 สัดส่วนเหล็กในดินตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการชะล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 จะพบว่า ก่อนทำการชะล้างดินตัวอย่างทั้งสี่แหล่งจะพบปริมาณเหล็กในรูปที่ เหลือเป็นส่วนมาก ซึ่งพบประมาณ 59.40 - 63.73 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปออกซิโคไซด์และรูปรีดิวซ์ ซึ่งพบประมาณ 18.18 - 21.59 เปอร์เซ็นต์ และ 16.29 - 17.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เมื่อทำการชะล้างดินตัวอย่างทั้งสี่ พบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างเหล็กในรูปที่ละลายน้ำได้ และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มีค่าที่สูงกว่ารูปอื่น ๆ

แต่ภายหลังจากการชะล้าง ยังพบว่า ดินทั้งสี่แหล่งยังคงมีปริมาณเหล็กที่สูงอยู่ เนื่องจากมี ประสิทธิภาพในการชะล้างที่ค่อนข้างต่ำ ถึงแม้ว่าค่าคงที่การเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง เหล็กกับ EDTA จะมีค่าที่สูงมากก็ตาม แต่เหล็กในรูปที่เหลือนั้นจะมี โครงสร้างที่แข็งแรง ทำให้ยากต่อ การชะล้าง (Sun; et. al. 2001) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะล้างมีค่าลดลง

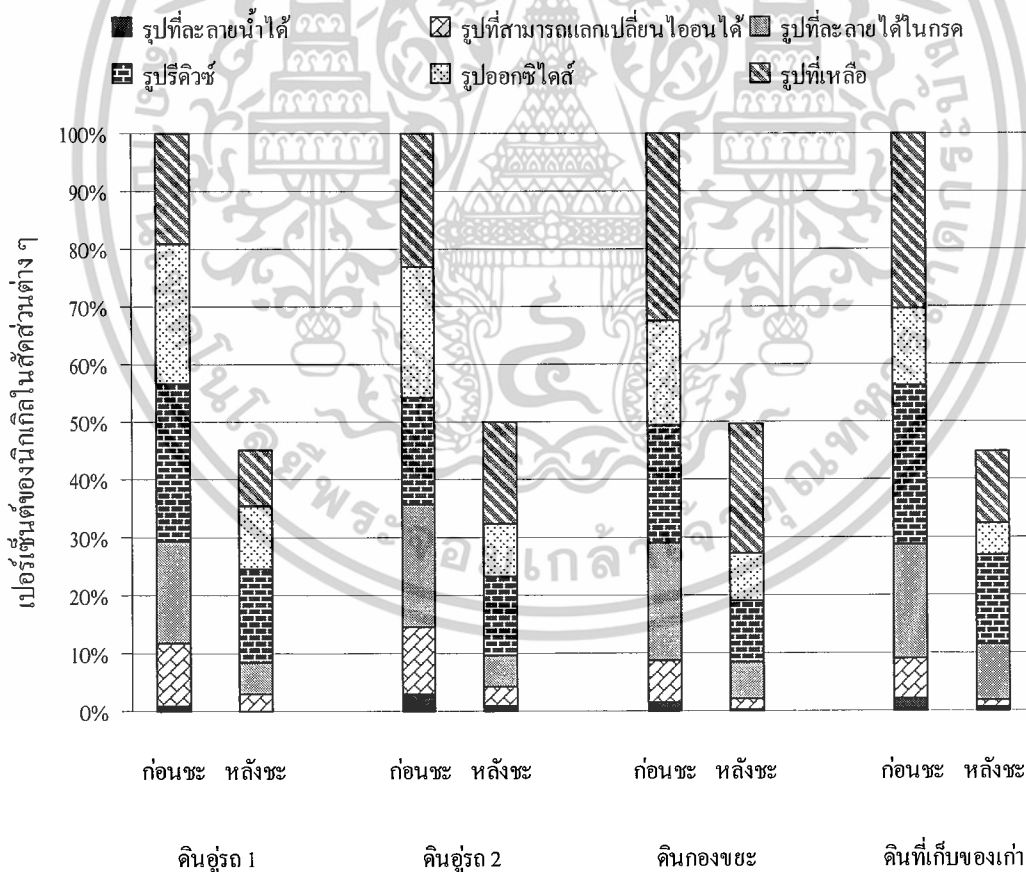


รูปที่ 4.13 สัดส่วนแมงกานีสในดินตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการชะล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 จะพบว่า ก่อนทำการชะล้างดินตัวอย่างทั้งสี่ จะมีสัดส่วนของโลหะแมงกานีสในรูปต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน โดยดินจากอูร์ถ (1) และดินจากแหล่งเก็บของเก่า จะมีโลหะแมงกานีสในรูปที่เหลือน้อยที่สุด รองลงมาคือ รูปรีดิวซ์ ส่วนดินจากอูร์ถ (2) และดินจากกองขยะ จะมีโลหะแมงกานีสในรูปรีดิวซ์มากที่สุด

ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการชะล้างโลหะแมงกานีสในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มีค่าที่สูง แต่เนื่องด้วยสัดส่วนของโลหะแมงกานีสของดินตัวอย่างมีค่าที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะแมงกานีสของดินตัวอย่างทั้งสี่มีค่าที่แตกต่างกัน โดยดินตัวอย่างจากกองขยะและอูร์ถ (2) จะมีประสิทธิภาพการชะล้างที่สูงกว่าดินตัวอย่างจากแหล่งเก็บของเก่าและอูร์ถ (1) เนื่องจาก โดยทั่วไปการชะล้างโลหะหนักในรูปที่เหลือน้อยกว่าการชะล้างโลหะหนักในรูปอื่น ๆ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักในรูปที่เหลือน้อยกว่า

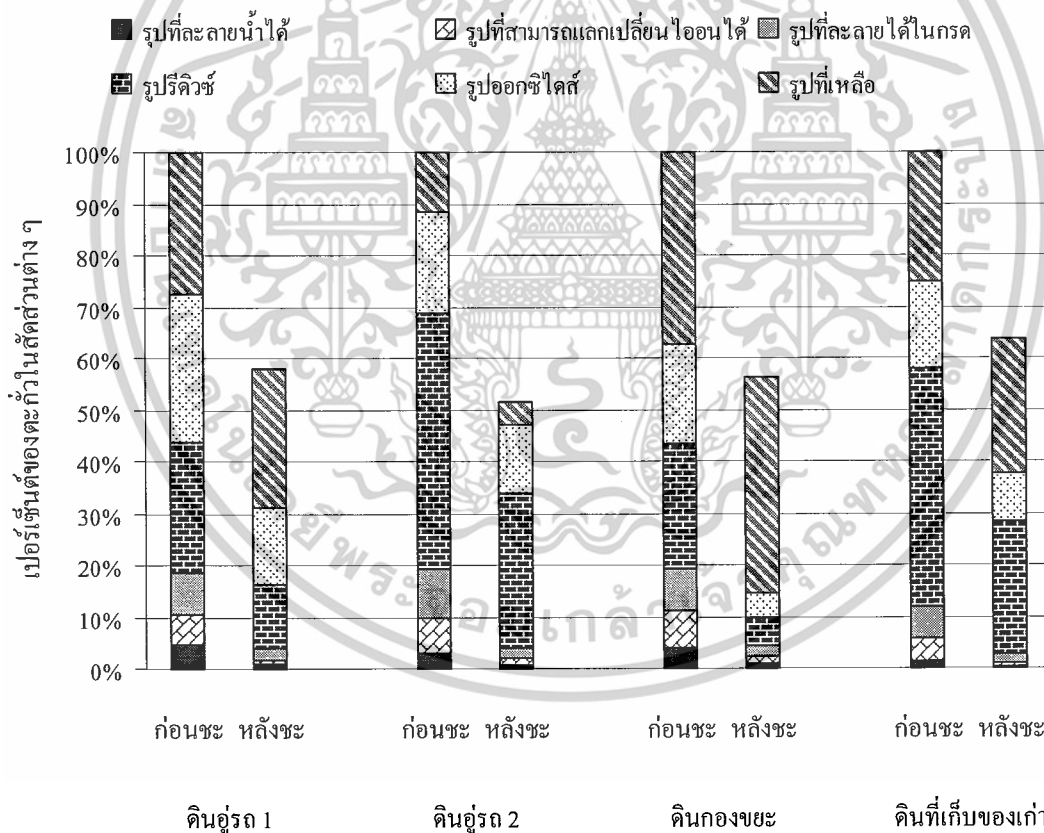


รูปที่ 4.14 สัดส่วนนิกลิเกิดในดินตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการชะล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 พบว่า สัดส่วนของนิกเกิลในดินตัวอย่างก่อนทำการชะล้างได้กระจายอยู่ในรูปต่าง ๆ นิกเกิลในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ จะมีสัดส่วนที่น้อยกว่า นิกเกิลในรูปอื่น ๆ แต่ประสิทธิภาพการชะล้างนิกเกิลในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มีค่ามากที่สุด เนื่องจาก EDTA มีคุณสมบัติเป็นคีเลตดึงค็อเจนต์ที่แรง ดังนั้นจึงสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับนิกเกิลในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี

จากข้อมูล (ภาคผนวก ค.) พบว่า สัดส่วนของนิกเกิลในรูปออกซิไดซ์และรูปรีดิวซ์ของดินตัวอย่างหลังผ่านการชะล้างจะมีสัดส่วนที่ลดลงค่อนข้างมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการชะล้างนิกเกิลมีค่าที่ค่อนข้างสูง



รูปที่ 4.15 สัดส่วนตะกั่วในดินตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการชะล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 พบว่าสัดส่วนของตะกั่วในดินตัวอย่างทั้งสี่แหล่งก่อนทำการชะล้างมีสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยดินตัวอย่างจากกองขยะจะมีสัดส่วนของตะกั่วในรูปที่ละลายมากที่สุด ส่วนดินตัวอย่างที่เหลือทั้งสามจะมีสัดส่วนของตะกั่วรูปรีดิคัลมากที่สุด

เมื่อทำการชะล้างตะกั่วจากดินตัวอย่างทั้งสี่พบว่าประสิทธิภาพการชะล้างตะกั่วรูปที่ละลายน้ำได้มีค่ามากที่สุด รองมาคือ ตะกั่วรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ แต่โดยทั่วไป EDTA สามารถชะล้างตะกั่วที่เกิดพันธะกับออกไซด์และซัลไฟด์ได้ค่อนข้างดี (Elliott and Brown 1989) ประสิทธิภาพการชะล้างตะกั่วในรูปรีดิคัลจึงมีค่าที่ค่อนข้างสูง แต่สัดส่วนของตะกั่วในรูปที่ละลายของดินจากกองขยะและแหล่งเก็บของเก่ามีค่าสูงขึ้น เนื่องจากตะกั่วในรูปอื่น ๆ เปลี่ยนรูปเป็นรูปที่ละลาย



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

คุณสมบัติของดิน ดินที่ใช้ในการวิจัยแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตก ต่างกัน ตามลักษณะของเนื้อดินดังนี้

5.1.1.1 ดินจากบริเวณอุ้งรถ (1) ลักษณะเนื้อดินเป็นดินทรายร่วน Fe_2O_3 มีปริมาณที่มากที่สุดที่ดินชนิดนี้ คือเท่ากับ 41.02 ± 1.87 เปอร์เซ็นต์

5.1.1.2 ดินจากบริเวณอุ้งรถ (2) ลักษณะเนื้อดินเป็นดินทรายร่วน มีสีน้ำตาลเทา มีปริมาณสารอินทรีย์และค่า CEC สูงกว่าดินจากบริเวณอุ้งรถ (1)

5.1.1.3 ดินจากบริเวณกองขยะ ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีเปอร์เซ็นต์ Al_2O_3 เท่ากับ 21.47 ± 0.25 เปอร์เซ็นต์สูงกว่าดินจากบริเวณอื่น ๆ ส่งผลให้ความสามารถในแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงถึง 3.91 ± 0.44 meq/100 g

5.1.1.4 ดินจากบริเวณที่เก็บของเก่า ลักษณะเนื้อดินเป็นดินทรายร่วน คล้ายกับดินจากบริเวณอุ้งรถ (1) และ อุ้งรถ (2) มีเปอร์เซ็นต์ Fe_2O_3 เท่ากับ 36.15 ± 0.78 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ดินมีสีเหลืองถึงน้ำตาล ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินเท่ากับ 1.06 ± 0.29 เปอร์เซ็นต์

5.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะออกจากดินโดยใช้สารละลายอีดีทีเอ

5.1.2.1 หาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ

จากการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะด้วยเครื่อง AAS ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ซึ่งทุกตัวอย่างดินทั้งสี่ชนิด ได้ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพมากที่สุด คือ 0.15 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.2 หาค่าอัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ

จากการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ เมื่อได้ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่สุด คือ 0.15 M จึงนำมาใช้เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นนี้ จากดินทั้งสี่ตัวอย่าง ได้ค่าอัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่เหมาะสม คือ 1: 30

5.1.3 การศึกษาสัดส่วนของโลหะในรูปต่าง ๆ ในดินโดยการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น

การสกัดแบบเป็นลำดับขั้นก่อนการชะล้างตัวอย่าง พบว่า โลหะแคดเมียม โครเมียม และเหล็ก (Cd, Cr, Fe) จะอยู่ในรูปที่ละลายมากที่สุด โลหะแมงกานีส นิกเกิล และตะกั่ว (Mn, Ni, Pb) จะอยู่ในรูปที่ละลายและรูปรีดิวซ์มากกว่ารูปอื่น ๆ และสัดส่วนของทองแดง (Cu) ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปออกซิไดส์และรูปรีดิวซ์

หลังทำการชะล้างด้วยสารละลาย EDTA แล้วนำไปสกัดด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น พบว่า สารละลาย EDTA มีประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าโลหะหนักในรูปอื่น ๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การล้างดินด้วยสารละลายโซเดียมเอ็ดทีเอนี้ควรทดลองนำไปใช้กับโลหะหนักชนิดอื่น ๆ นอกเหนือจากโลหะหนักทั้ง 7 ชนิดที่ได้ทำการทดลอง

5.2.2 ควรศึกษาถึงลักษณะเฉพาะ องค์ประกอบของตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์เมื่อมีการนำเทคนิคการล้างดินไปประยุกต์ใช้จริง

5.2.3 ควรใช้สารละลายคีเลตชนิดอื่น เช่น Nitrilotriacetic acid (NTA) มาใช้ในการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของโลหะแต่ละชนิด

5.2.4 ควรศึกษาเพิ่มเติม ในด้านปริมาณของซิลิกอนออกไซด์ (SiO₂)

5.2.5 ควรศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเอ็ดทีเอกับโลหะหนัก โดยพิจารณาข้อมูลด้านค่าคงที่การเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (K_f) ค่า pH จลนศาสตร์ของการสกัด และคุณสมบัติด้านอื่นของตัวอย่างดิน

5.2.6 ในการสกัดแบบลำดับขั้นควรพิจารณาในด้านสมดุลมวลสาร (Mass balance) ร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และอำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล. ม.ป.ป. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2.**

กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2535. **คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินของกลุ่มเคมีดินที่ 2.**

กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

ดุสิต มานะจตุ. 2535. **ปฐพีวิทยาทั่วไป.** พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นัทธีรธัญญา ศรีวิริยานุภาพ. 2545. **การล้างดินและกากตะกอนที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยใช้สารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับโซเดียมอิตีทีเอ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บุญเติม แซ่ปึ้ง. 2536. **ปริมาณตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในน้ำและดินตะกอนจากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำต่างๆ บริเวณลุ่มแม่น้ำเมย จังหวัดตาก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. 2532. **การวิเคราะห์รูปแบบของโลหะปริมาณน้อยในตะกอนใกล้ฝั่งโดยวิธีการสกัดล้างตามลำดับขั้น.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพบุลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. **เคมีของดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เชียงใหม่พิมพ์สวย.

รัตติกาล จันทิวาสน์. 2542. **การปรับเสถียรภาพของโลหะมีพิษในกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมสังกะสี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีวิเคราะห์และเคมีอินทรีย์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ศุภชัย ไข่เทียมวงศ์. 2546. **เคมีวิเคราะห์.** พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน และคณะ. 2535. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อรุณี คงศักดิ์ไพศาล. 2539. เคมิวิเคราะห์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เอิบ เขียวรัตน์ธรรม. 2542. การสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Allen, H. E., Huang, C. P., Bailey, G. W., Bowers, A. R. 1995. Metal speciation and contamination of soil. **Lewis publishers**. 1st ed., USA.
- Chulsung, K., Yongwoo, L. and Say, K. O. 1997. Factor affecting EDTA extraction of lead from lead-contaminated soils. **Chemosphere**. (51): 845-853.
- Cline, S. R., Reed, B. E., Associate Members., ASDE. 1995. Lead removal from soils via bench - scale soil washing techniques. **Environmental Engineering**. (October): 700-705.
- ✓ Elliott, H. A. and Brown, G. A. 1989. Comparative evaluation of NTA and EDTA for extractive decontamination of Pb - polluted soils. **Water, Air and Soil Pollution**. (45): 361-369.
- ✓ Garrabrants, A. C. and Kosson, D. S. 2000. Use of a chelating agent to determine the metal availability for leaching from soils and wastes. **Waste Management**. (20): 155-165.
- Heil, D. M., Samani, Z., Hanson, A. T., Rudd, B. 1999. Remediation of lead contaminated soil by EDTA. I. batch and column studies. **Water, Air and Soil Pollution**. (113): 77-95.
- Juang, R. S., Lin, S. H. and Wang, T. Y. 2003. Removal of metal ions from the complexed solutions in fixed bed using a strong-acid ion exchange resin. **Chemosphere**. (53): 1221-1228.
- Irene, M. C. and Yang, X. Y. 1999. EDTA Extraction of heavy metals from different soil fractions and synthetic soils. **Water, Air and Soil Pollution**. (109): 219-236.
- Mulligan, C. N., Yong, R. N. and Gibbs, B. F. 2001. Remediation technologies for metalcontaminated soils and groundwater: an evaluation. **Engineering Geology**. (60): 193-207.
- Nowack, B., Kari, F. G. and KrüGer, H. G. 2001. The remobilization of heavy metals from iron oxides and sediments by metal-EDTA complexes. **Water, Air and Soil Pollution**. (125): 243-257.
- Papassiopi, N., Tambouris, S. and Kontopoulos, A. 1999. Removal of heavy metals from calcareous contaminated soils by EDTA leaching. **Water, Air and Soil Pollution**. (109):

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Reed, B. E., Carriere, P. C., Moore, R., Associate Member., ASCE. 1996. Flushing of a Pb(II) contaminated soil using HCL, EDTA and CaCl₂. **Environmental Engineering**. (January): 48-50.
- Robert, W. H. 1999. Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils. **Hazardous Materials**. (66): 151-210.
- Sun, B., Zhao, F. J., Lombi, E., McGrath, S. P. 2001. Leaching of heavy metal from contaminated soils using EDTA. **Environmental Pollution**. (113): 111-120.
- Voegelin, A., Barmettler, K. and Kretzschmar, R. 2003. Heavy metal release from contaminated soils: comparison of column leaching and batch extraction results. **Published in J. Environ. Qual.** (32): 865-875.
- Wu, L. H., Luo, Y. M., Christie, P., Wong, M. H. 2003. Effects of EDTA and low molecular weight organic acids on soil solution properties of a heavy metal polluted soil. **Chemosphere**. (50): 819-822.
- Robert, W. H. 1999. Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils. **Hazardous Materials**. (66): 151-210.

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ดิน

ก.1 การวัดค่าพีเอช (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งดินแห้ง 5 g ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไป 5 mL พร้อมบันทึกหมายเลขตัวอย่างดิน
2. กวนให้เข้ากันอย่างน้อย 5 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. ขณะที่ตั้งสารละลายทิ้งไว้ ให้ทำการปรับเทียบเครื่องวัดพีเอชกับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 4 และ 7 (ปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่องวัดพีเอช)
4. จุ่มอิเล็กโทรดลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายดินที่ครบตามเวลา กวนโดยใช้การหมุนอิเล็กโทรดเบาๆ (ระวัง! อิเล็กโทรดกระแทกแตกได้) อ่านค่าพีเอช

ก.2 การหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 10 g ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตท 1 N ลงไป 20 mL ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ค้างคืน
2. เขย่าสารละลายดิน 30 นาที โดยใช้เครื่องเขย่า จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง นาน 20 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง
3. ล้างดินออกด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 N ครั้งละ 30 mL นำไปปั่นเหวี่ยงแยก ส่วนใสออกจนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบดูโดยนำส่วนใสที่ได้จากการล้างแต่ละครั้ง ประมาณ 10 mL ใส่ในหลอดทดลองหยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N แอมโมเนียมออกซาลาต 10 % และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50 % อย่างละ 2-3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้าเกิดตะกอนหรือสารละลายขุ่น แสดงว่ามีแคลเซียมตกค้างอยู่)
4. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 7 ครั้ง ๆ ละ 30 mL โดยนำไปปั่นเหวี่ยงนานประมาณ 3-5 นาทีเพื่อแยกส่วนใสออก จนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ (ทดสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 N 2-3 หยด ถ้ามีตะกอนขาวของ AgCl แสดงว่ามีคลอไรด์เหลืออยู่)
5. นำสารละลายจากข้างต้นทิ้งไปนำตัวอย่างดินที่ได้มาล้างต่อด้วยโซเดียมคลอไรด์ 10 % เพื่อไล่แอมโมเนียมในดิน โดยล้างครั้งละ 30 mL ซ้ำ 3 ครั้ง นำไปปั่นเหวี่ยง เก็บส่วนใสไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำส่วนใสที่ได้จากสารละลายดินมาใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 mL ปรับปริมาตรรวมจนมีปริมาตร 100 mL ด้วยน้ำกลั่น
7. นำสารละลายดินที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียออกมาโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % ลงไป 25 mL ใส่ใน Kjeldahl flask ที่ปลายคอนเดนเซอร์ (Condenser) จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริกซึ่งใส่อินดิเคเตอร์ผสมไว้ 2-3 หยด กลั่นจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว
8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
9. กลั่นแบลนด์และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

$$CEC = \frac{[(A - B) N \times 100]}{X} \quad \text{มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน} \dots\dots\dots (ก.1)$$

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (mL)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลนด์

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)

X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน

ก.3 การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารโดยวิธี Walkley and Black (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL
2. เติมน้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมท 1 N ลงไป 10 mL โดยใช้ปิเปต
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไป 15 mL เขย่าขวดแก้วเบา ๆ เป็นเวลา 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ดินและน้ำยาทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที
4. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 mL ทิ้งไว้ให้เย็น
5. ไทเทรตสารละลายที่ได้ด้วยน้ำยาเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 N เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทที่เหลือจากปฏิกิริยาจนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ
6. จดปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทและเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้
7. ทำแบลนด์เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ดิน
8. คำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\% \text{ Organic carbon} = [(B-T)N/B] \times [100/77] \times 0.003 \times [100/X] \times 10 \dots\dots\dots (ก.2)$$

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท

B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลนค์

T = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน

X = น้ำหนักดิน

$$\% \text{ Organic matter} = \% \text{ Organic carbon} \times 1.724 \dots\dots\dots (ก.3)$$

หรือ
$$\% \text{ Organic matter} = [(B-T)N/B] \times [100/77] \times [100/58] \times 0.003 \times [100/X] \times 10 \dots\dots\dots (ก.4)$$

ก.4 การหาค่าความชื้น (นัทชรินทร์, 2545)

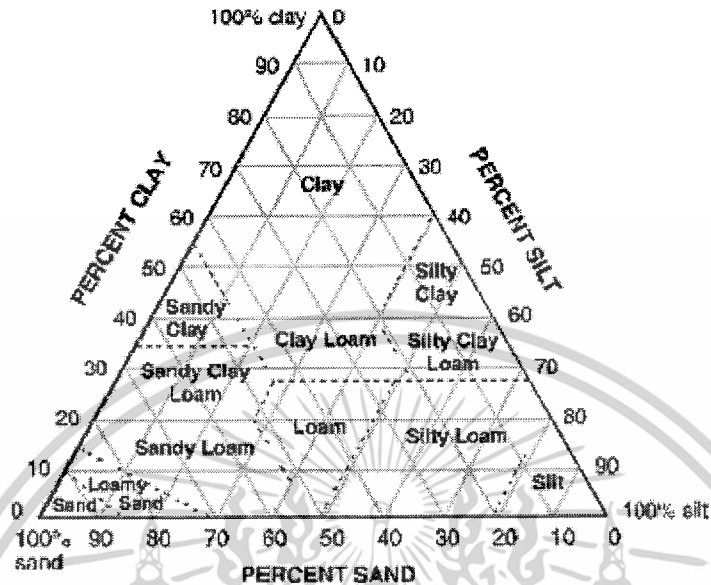
1. ชั่งกระจกนาฬิกาที่สะอาด
2. นำตัวอย่างดินมาชั่ง 10 g ลงบนกระจกนาฬิกา จดบันทึกน้ำหนักเปียก
3. นำไปเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 – 110 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\% \text{ ความชื้น} = [(\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}) \times 100] / \text{น้ำหนักเปียก} \dots\dots\dots (ก.5)$$
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

ก.5 การหาเปอร์เซ็นต์ทราย ซิลต์ เคลย์ (กลินสุคนธ์ และอำนาจ, ม.ป.ป.)**การเปรียบเทียบไฮโดรมิเตอร์**

1. เทสารละลายคัลคอน จำนวน 100 mL ลงในกระบอกตวงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1.0 L ผสมให้ทั่วด้วยแท่งแก้วคนแบบ Plunger ตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่ (อยู่ในช่วง 20 – 25 °C)
2. ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในสารละลายอย่างระมัดระวัง อ่านค่าจากสเกลที่รอยเว้าบนของของเหลวที่ล้อมรอบไฮโดรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสดิน

การอ่านค่าจากสารแขวนลอย

1. ชั่งดินที่ผึ่งแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช แล้ว 40 g (ถ้าเป็นดินทรายร่วนหรือดินทรายใช้ 100 g) ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 mL เติมน้ำละลายคัลคอน 100 mL และน้ำประมาณ 300 mL ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
2. ชั่งดินตัวอย่างเดิมอีก 10 กรัม เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นและน้ำหนักแห้งแล้วนำไปอบที่ 105 °C 1 คืน ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์และชั่งน้ำหนัก
3. นำสารแขวนลอยดินจากข้อ 1 มาควนด้วยเครื่องควนแม่เหล็กประมาณ 5 นาที แล้วเทลงกระบอกตวงขนาด 1 L
4. ปรับปริมาตรสารในข้อ 3 ด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1 L ทิ้งไว้จนอุณหภูมิกิ่งที่
5. จุ่มแท่งแก้วคนแบบ Plunger แบบขึ้น-ลง เบา ๆ เพื่อให้เกิดการผสมกันอย่างทั่วทั้งกระบอกตวง (ให้หมุนขึ้นลงแบบเกลียวส่วน 2-3 รอบ) บันทึกเวลาเมื่อคนเสร็จ (เติม 1 หยดของเอมิลแอลกอฮอล์ ถ้าที่ผิวของสารแขวนลอยเป็นฟอง)
6. ค่อยๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงอย่างระมัดระวังในสารแขวนลอยและอ่านสเกลเหมือนหัวข้อการเปรียบเทียบไฮโดรมิเตอร์ เมื่อเวลาผ่านไป 40 วินาที หลังจากการควนผสม หลังจากการควนผสม ค่าที่อ่านได้ควรหักลบจากค่าที่อ่านได้จากการเปรียบเทียบไฮโดรมิเตอร์
7. ค่อย ๆ ดึงไฮโดรมิเตอร์ขึ้นอย่างระมัดระวังเมื่ออ่านเสร็จ ล้างและเช็ดให้แห้ง
8. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์อีกครั้งโดยทำเหมือนข้อ 6 และ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวัง

การหาขนาดของอนุภาคด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์นี้ไม่เหมาะสมในกรณีที่ดินตัวอย่างมีหินปูนมากหรือเป็นคอนกรีต หรือมีอินทรีย์คาร์บอนมากกว่า 2 %

การคำนวณ

$$\% \text{ Sand} = [(W - R)40S \times 100] / W \dots\dots\dots (ก.6)$$

$$\% \text{ Clay} = [(R_{2hr}) \times 100] / W \dots\dots\dots (ก.7)$$

$$\% \text{ Silt} = 100 - (\% \text{ Sand} + \% \text{ Clay}) \dots\dots\dots (ก.8)$$

ก.6 การวิเคราะห์ความเป็นกรดของดิน (กลินส์คอนซ์ และอำนาจ, ม.ป.ป.)

1. ชั่งดิน 5-10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่
2. เติมน้ำยา (สารละลาย BaCl_2 0.5 N และ ไทรอทานอลามีน) ลงไป 50 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 คืน
กรองโดยใช้กรวยแบบลดความดันและล้างดินด้วยเบเรียมคลอไรด์ ไทรอทานอลามีน 2-3 ครั้ง จนสารละลายที่ได้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ลงในขวดวัดปริมาตรและใช้น้ำยา (สารละลาย BaCl_2 0.5 N และ ไทรอทานอลามีน) ปรับปริมาตร
3. เทสารละลายที่กรองได้ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ล้างขวดด้วยน้ำกลั่นและเทลงผสมเติมอินดิเคเตอร์ 4-5 หยด จะได้สารละลายสีเขียว
4. ทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริกก่อน (ให้ได้ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ถ้าไม่ใกล้เคียงกับ 0.2 N ต้องเตรียมใหม่
5. นำไปไทเทรตกับ HCl 0.2 N จนถึงจุดยุติเป็นสีชมพูม่วง
6. ทำแบลนด์ เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน และไทเทรตเช่นกัน

การคำนวณ

$$\text{ความเป็นกรดของดิน} = [(B - S) \times N \times 100] / [X (100 - \% \text{ ความชื้น})] \text{ meq/g drysoil} \dots (ก.9)$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของ HCl (N)

B = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับแบลนด์ (mL)

S = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างดิน (mL)

X = น้ำหนักของดิน (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.7 การหาความเข้มข้นของโลหะหนักโดย Microwave digester (นัทชธีรธูรา, 2545)

1. เลือก Digestion program ให้เหมาะสมกับตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างลงใน Vessel ของ Rotor type ที่กำหนดให้ใช้ได้ ใน Program
3. ใส่กรดที่มีความเข้มข้น และปริมาณตามที่ระบุไว้ใน Program
4. ใส่ Vessel ใน Protective shield ปิดฝา ตามด้วย Adapter plate และ Special spring นำไปใส่ใน Polypropylene rotor body

หมายเหตุ ถ้าตัวอย่างไม่ครบทุก Vessel ให้วาง Vessel ที่มีสารให้สมดุลหรือใช้ Vessel เปล่าวางแทน

5. ไขให้แน่นด้วย Tension wrench (ค้อนสี่ด้าน) เมื่อแน่นจะได้ยินเสียง “คลิก”
6. วาง Polypropylene rotor body ใน Microwave unit โดยสวมให้ตรงกับแกน
7. กำหนดค่าของ Time, Power, Pressure, Temp ตามที่กำหนดใน Program ที่เลือกไว้
8. กด Start เครื่องจะ Check และทำตาม Program
9. เมื่อสิ้นสุดการ Digest ตาม Program เครื่องจะแสดง Switch off microwave unit และ Exhaust module
10. เปิดเครื่อง Microwave unit และยก Rotor body ทำให้เย็นโดยใส่ใน Cooling bath ประมาณ 10 นาที
11. นำ Vessel ออก แล้วนำสารละลายที่ได้ไปกรอง
12. นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

ภาคผนวก ข

วิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)

ขั้นที่ 1 Water soluble

1. นำตัวอย่างดิน 1 g มาผสมกับน้ำ DI 25 mL ใส่ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 2 Exchangeable

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 1 มาเติม 1.0 M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ pH 7 ปริมาตร 25 mL ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 mL แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 3 Acid soluble

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 2 มาเติม 0.11 M CH_3COOH pH 3 ปริมาตร 25 mL ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 mL แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 Reducible

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 3 มาเติม 0.1 M $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ pH 2 (ใน 25 % v/v CH_3COOH) ปริมาตร 25 mL ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 mL แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 5 Oxidizable

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 4 มาเติม H_2O_2 30 % pH 2 ปริมาตร 20 mL ในขวดรูปชมพู่
2. นำไปเขย่าด้วย Waterbath shaker 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 °C แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. เติม 1.0 M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ pH 2 ปริมาตร 20 mL
4. นำไปเขย่าด้วย Waterbath shaker 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 °C แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
5. กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
6. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
7. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 6 Residual

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 5 ไปทำให้แห้ง โดยนำไปอบที่ 103-105 °C นาน 30 นาที
2. ชั่งน้ำหนักให้ได้ 2 g ใส่ Platinum crucible
3. นำไปย่อยด้วย HF/HNO_3 บนแท่นให้ความร้อนจนได้สารละลายใส
4. ปรับปริมาตรให้เป็น 25 mL ด้วยน้ำ DI
5. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

ภาคผนวก ค.

ผลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ค่า CEC ของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	CEC (meq/100g)			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอุ้งรต1	1.13	1.34	1.44	1.30	0.16
ดินอุ้งรต2	1.68	2.59	1.97	2.08	0.47
ดินกองขยะ	3.41	4.06	4.26	3.91	0.44
ดินแหล่งของเก่า	1.92	1.49	2.07	1.83	0.30

ตารางที่ ค.2 ปริมาณสารอินทรีย์ของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอุ้งรต1	0.89	0.97	0.98	0.94	0.05
ดินอุ้งรต2	1.59	1.80	2.83	2.07	0.66
ดินกองขยะ	2.40	2.50	3.54	2.81	0.63
ดินแหล่งของเก่า	0.72	1.25	1.22	1.06	0.29

ตารางที่ ค.3 การกระจายตัวของอนุภาคของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	% Sand	% Silt	% Clay	ลักษณะเนื้อดิน
ดินอุ้งรต1	81.25	12.5	6.25	Loamy sand
ดินอุ้งรต2	82.5	8.75	8.75	Loamy sand
ดินกองขยะ	78.75	8.75	12.5	Sandy loam
ดินแหล่งของเก่า	88.75	7.5	3.75	Loamy sand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ปริมาณความชื้นของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	เปอร์เซ็นต์ความชื้น			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอุ้รต1	4.93	4.45	4.77	4.72	0.24
ดินอุ้รต2	3.69	3.62	4.54	3.95	0.51
ดินกองขยะ	5.34	5.39	5.23	5.32	0.09
ดินแหล่งของเก่า	4.39	4.39	4.36	4.38	0.02

ตารางที่ ค.5 ค่าพีเอชของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	ดินอุ้รต1	ดินอุ้รต2	ดินกองขยะ	ดินแหล่งของเก่า	
ค่า pH	1	7.52	7.59	6.65	7.06
	2	7.70	7.61	6.70	7.23
	3	6.40	7.75	6.68	8.02
	4	7.75	7.73	6.45	8.04
	5	6.52	7.71	6.65	8.04
	6	7.80	7.75	6.66	7.09
	7	6.31	7.84	6.62	7.35
	8	6.10	7.68	6.70	7.38
	9	6.56	7.72	6.92	7.93
	10	6.11	7.73	6.65	7.45
เฉลี่ย	6.88	7.71	6.67	7.56	
S.D.	0.72	0.07	0.11	0.41	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ความเป็นกรดของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	ความเป็นกรดของดิน (meq/100g)			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอุ้งรต1	0.44	0.47	0.48	0.47	0.02
ดินอุ้งรต2	0.55	0.57	0.57	0.57	0.01
ดินกองขยะ	0.52	0.52	0.51	0.52	0.00
ดินแหล่งของเก่า	0.56	0.55	0.57	0.56	0.01

ตารางที่ ค.7 โลหะออกไซด์ของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	% Al ₂ O ₃			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอุ้งรต1	13.50	13.90	14.10	13.83	0.31
ดินอุ้งรต2	15.60	15.90	15.70	15.73	0.15
ดินกองขยะ	21.20	21.50	21.70	21.47	0.25
ดินแหล่งของเก่า	9.48	9.42	9.51	9.47	0.05

ตัวอย่างดิน	% MnO ₂			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอุ้งรต1	0.69	0.67	0.68	0.68	0.01
ดินอุ้งรต2	0.31	0.29	0.32	0.31	0.02
ดินกองขยะ	0.32	0.32	0.30	0.31	0.01
ดินแหล่งของเก่า	0.26	0.25	0.24	0.25	0.01

ตัวอย่างดิน	% Fe ₂ O ₃			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอุ้งรต1	43.15	40.26	39.65	41.02	1.87
ดินอุ้งรต2	8.56	9.02	8.82	8.80	0.23
ดินกองขยะ	9.17	9.26	9.33	9.25	0.08
ดินแหล่งของเก่า	36.74	36.45	35.26	36.15	0.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปแจ้งประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินอุ้งรูด (1)

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
แคดเมียม	2.20	2.60	1.97	2.26	0.32
โครเมียม	164.20	122.87	137.25	141.44	20.98
ทองแดง	364.67	463.44	391.26	406.46	51.11
เหล็ก	35,113.33	34,460.00	34,832.81	34,802.05	327.75
แมงกานีส	2,610.49	1,751.34	1,825.69	2,062.51	476.02
นิกเกิล	160.00	152.38	152.38	154.92	4.40
ตะกั่ว	120.53	99.07	121.62	113.74	12.72

ตารางที่ ค.9 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินอุ้งรูด (2)

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
แคดเมียม	1.67	1.47	1.85	1.66	0.19
โครเมียม	35.80	37.00	30.81	34.54	3.28
ทองแดง	98.77	129.15	117.76	115.23	15.35
เหล็ก	15,546.67	16,986.67	16,319.79	16,284.37	720.65
แมงกานีส	363.49	462.62	429.57	418.56	50.48
นิกเกิล	281.90	266.67	198.10	248.89	44.64
ตะกั่ว	318.60	250.80	310.81	293.40	37.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินกองขยะ

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
แคดเมียม	2.67	3.60	4.10	3.46	0.73
โครเมียม	42.47	42.40	56.02	46.96	7.85
ทองแดง	246.91	197.53	170.94	205.13	38.55
เหล็ก	23,566.67	22,080.00	23,197.03	22,947.90	774.01
แมงกานีส	735.23	660.88	776.54	724.22	58.61
นิกเกิล	213.33	236.19	228.57	226.03	11.64
ตะกั่ว	299.47	178.80	297.30	258.52	69.05

ตารางที่ ค.11 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินแหล่งเก็บของเก่า

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
แคดเมียม	7.13	6.47	8.28	7.29	0.92
โครเมียม	95.80	87.20	109.24	97.41	11.11
ทองแดง	2,195.63	2,123.46	1,834.76	2,051.28	190.96
เหล็ก	33,660.00	33,646.67	33,605.28	33,637.32	28.53
แมงกานีส	702.19	660.88	726.97	696.68	33.39
นิกเกิล	281.90	266.67	198.10	248.89	44.64
ตะกั่ว	528.00	468.07	527.03	507.70	34.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 M ของดินอุ้รูด (1)

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้นของ EDTA (M)	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แคดเมียม	0.01	4.25	8.76	4.21	5.74	2.61
	0.05	26.03	17.70	4.38	16.04	10.92
	0.10	26.55	17.52	17.52	20.53	5.21
	0.15	17.52	26.55	29.78	24.62	6.35
	0.25	26.55	26.29	17.18	23.34	5.33
โครเมียม	0.01	0.68	0.98	0.74	0.80	0.16
	0.05	1.59	2.55	2.24	2.13	0.49
	0.10	5.16	6.93	3.71	5.27	1.61
	0.15	9.17	4.45	8.70	7.44	2.60
	0.25	10.39	5.67	5.29	7.12	2.84
ทองแดง	0.01	13.03	15.22	13.65	13.96	1.13
	0.05	17.22	18.71	18.27	18.07	0.77
	0.10	17.99	20.52	18.70	19.07	1.31
	0.15	25.21	23.89	23.98	24.36	0.74
	0.25	23.73	22.47	21.01	22.40	1.36
เหล็ก	0.01	0.84	1.36	1.17	1.12	0.26
	0.05	6.03	6.14	5.97	6.05	0.09
	0.10	7.40	8.59	7.78	7.92	0.61
	0.15	15.86	18.16	15.56	16.53	1.42
	0.25	21.00	23.95	21.25	22.07	1.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 M ของดินอุรุด (1)

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้นของ EDTA (M)	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แมงกานีส	0.01	11.46	12.96	12.09	12.17	0.75
	0.05	26.27	23.94	24.79	25.00	1.18
	0.10	17.86	21.30	24.19	21.12	3.17
	0.15	19.59	24.57	24.21	22.79	2.78
	0.25	22.74	24.05	23.70	23.50	0.68
นิกเกิล	0.01	17.01	29.59	33.44	26.68	8.60
	0.05	49.11	33.89	67.74	50.25	16.96
	0.10	67.06	51.64	54.00	57.57	8.30
	0.15	62.31	83.20	59.83	68.45	12.84
	0.25	68.68	74.80	60.10	67.86	7.38
ตะกั่ว	0.01	10.99	18.28	19.01	16.09	4.43
	0.05	24.74	22.60	34.12	27.15	6.13
	0.10	34.11	31.69	33.86	33.22	1.33
	0.15	41.78	34.55	49.54	41.96	7.50
	0.25	50.24	34.91	45.22	43.46	7.81

หมายเหตุ : $\% \text{ Removal} = (\text{ปริมาณโลหะที่ชะล้างได้} \times 100) / \text{ปริมาณโลหะทั้งหมด}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 M ของดินอุรุด (2)

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้นของ EDTA (M)	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แคดเมียม	0.01	5.74	11.93	11.37	9.68	3.42
	0.05	24.10	35.44	11.81	23.78	11.82
	0.10	18.07	35.09	34.75	29.31	9.73
	0.15	22.95	52.64	41.75	39.11	15.02
	0.25	59.06	23.17	42.17	41.47	17.96
โครเมียม	0.01	6.34	10.32	11.20	9.29	2.59
	0.05	14.77	19.87	15.04	16.56	2.87
	0.10	25.19	17.71	15.31	19.40	5.15
	0.15	23.16	20.80	25.51	23.16	2.36
	0.25	23.28	23.38	20.56	22.41	1.60
ทองแดง	0.01	24.99	30.10	23.47	26.19	3.47
	0.05	41.38	42.21	40.80	41.47	0.71
	0.10	47.20	46.74	42.73	45.56	2.46
	0.15	46.73	47.87	60.77	51.79	7.80
	0.25	48.22	50.86	51.04	50.04	1.58
เหล็ก	0.01	0.94	1.16	1.03	1.04	0.11
	0.05	2.82	2.74	2.73	2.76	0.05
	0.10	3.59	4.75	4.04	4.13	0.59
	0.15	6.83	7.95	8.28	7.68	0.76
	0.25	9.33	7.92	7.67	8.30	0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 M ของดินอุรุด (2)

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้นของ EDTA (M)	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แมงกานีส	0.01	15.02	18.07	17.13	16.74	1.56
	0.05	35.86	35.67	31.81	34.45	2.29
	0.10	36.60	47.06	48.20	43.95	6.39
	0.15	47.19	54.00	53.70	51.63	3.85
	0.25	52.25	50.65	54.25	52.38	1.80
นิกเกิล	0.01	5.13	8.12	9.29	7.51	2.14
	0.05	14.95	17.25	14.26	15.49	1.57
	0.10	20.69	27.62	15.72	21.34	5.97
	0.15	29.62	37.99	36.64	34.75	4.50
	0.25	27.26	26.54	29.69	27.83	1.65
ตะกั่ว	0.01	11.85	22.78	22.28	18.97	6.17
	0.05	32.45	30.11	29.71	30.75	1.48
	0.10	22.22	34.68	39.03	31.98	8.72
	0.15	44.73	40.90	48.83	44.82	3.97
	0.25	44.68	45.17	44.65	44.83	0.29

หมายเหตุ : $\% \text{ Removal} = (\text{ปริมาณโลหะที่ชะล้างได้} \times 100) / \text{ปริมาณโลหะทั้งหมด}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 M ของดินกองขยะ

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้นของ EDTA (M)	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แคดเมียม	0.01	2.83	11.56	17.17	10.52	7.22
	0.05	31.79	26.01	25.50	27.77	3.49
	0.10	41.69	34.68	38.91	38.42	3.53
	0.15	28.62	51.51	45.78	41.97	11.91
	0.25	40.06	53.84	28.34	40.74	12.76
โครเมียม	0.01	6.68	7.24	8.64	7.52	1.01
	0.05	10.65	14.27	16.08	13.66	2.76
	0.10	18.84	20.66	16.99	18.83	1.83
	0.15	26.78	21.93	24.67	24.46	2.43
	0.25	23.19	24.64	27.56	25.13	2.22
ทองแดง	0.01	34.31	41.72	35.63	37.22	3.95
	0.05	57.50	60.42	51.51	56.48	4.54
	0.10	64.19	69.38	65.20	66.25	2.75
	0.15	70.01	73.23	92.84	78.69	12.35
	0.25	69.15	75.63	79.77	74.85	5.36
เหล็ก	0.01	1.21	1.38	1.26	1.28	0.09
	0.05	4.84	5.27	5.02	5.05	0.22
	0.10	8.25	9.37	9.05	8.89	0.58
	0.15	11.74	12.98	12.20	12.31	0.63
	0.25	12.90	12.31	13.13	12.78	0.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 M ของดินกองขยะ

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้นของ EDTA (M)	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แมงกานีส	0.01	17.76	19.99	19.44	19.07	1.16
	0.05	49.06	51.97	49.82	50.28	1.51
	0.10	53.03	59.61	55.72	56.12	3.31
	0.15	62.97	68.34	70.02	67.11	3.68
	0.25	64.47	64.82	67.50	65.60	1.66
นิกเกิล	0.01	14.31	8.58	1.71	8.20	6.31
	0.05	18.67	17.83	30.97	22.49	7.36
	0.10	28.88	31.99	25.27	28.71	3.36
	0.15	29.39	42.49	37.28	36.39	6.59
	0.25	31.19	36.65	29.71	32.52	3.66
ตะกั่ว	0.01	27.38	31.33	31.02	29.91	2.20
	0.05	60.50	50.21	46.99	52.56	7.06
	0.10	51.48	58.14	52.00	53.87	3.71
	0.15	55.30	58.90	57.29	57.17	1.80
	0.25	58.23	59.92	57.90	58.68	1.09

หมายเหตุ : $\% \text{ Removal} = (\text{ปริมาณโลหะที่ชะล้างได้} \times 100) / \text{ปริมาณโลหะทั้งหมด}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 M ของดินแหล่งเก็บของเก่า

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้นของ EDTA (M)	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แคดเมียม	0.01	10.76	14.94	19.01	14.90	4.13
	0.05	26.90	38.03	29.30	31.41	5.86
	0.10	36.31	31.96	34.63	34.30	2.19
	0.15	39.39	45.28	36.67	40.45	4.40
	0.25	40.12	43.90	39.00	41.00	2.57
โครเมียม	0.01	5.03	3.66	4.27	4.32	0.69
	0.05	9.56	10.77	9.07	9.80	0.88
	0.10	14.79	11.16	11.46	12.47	2.02
	0.15	15.96	14.85	11.99	14.27	2.05
	0.25	14.62	15.50	13.18	14.44	1.17
ทองแดง	0.01	9.36	11.06	10.26	10.23	0.85
	0.05	19.56	26.56	20.77	22.30	3.74
	0.10	24.27	24.70	23.58	24.18	0.57
	0.15	29.84	32.04	34.97	32.28	2.58
	0.25	27.44	30.48	26.57	28.17	2.05
เหล็ก	0.01	1.20	1.33	1.28	1.27	0.07
	0.05	12.34	13.00	12.44	12.59	0.35
	0.10	13.32	18.76	14.79	15.62	2.81
	0.15	16.40	17.59	18.57	17.52	1.09
	0.25	22.18	19.74	18.57	20.17	1.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่มีความเข้มข้น 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 M ของดินแหล่งเก็บของเก่า

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้นของ EDTA (M)	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แมงกานีส	0.01	7.98	8.51	8.20	8.23	0.27
	0.05	19.95	20.93	19.84	20.24	0.60
	0.10	17.84	23.08	22.73	21.22	2.93
	0.15	19.13	17.17	17.21	17.84	1.12
	0.25	18.86	21.05	21.12	20.34	1.29
นิกเกิล	0.01	11.74	18.58	12.81	14.38	3.68
	0.05	16.07	34.37	31.13	27.19	9.76
	0.10	26.94	57.42	40.33	41.57	15.28
	0.15	46.46	50.98	41.89	46.45	4.55
	0.25	40.14	43.51	56.76	46.81	8.79
ตะกั่ว	0.01	12.98	18.99	14.31	15.43	3.16
	0.05	44.32	40.43	35.49	40.08	4.42
	0.10	40.90	45.26	47.23	44.47	3.24
	0.15	45.87	49.11	62.56	52.51	8.85
	0.25	52.34	60.71	49.51	54.19	5.82

หมายเหตุ : $\% \text{ Removal} = (\text{ปริมาณโลหะที่ชะล้างได้} \times 100) / \text{ปริมาณโลหะทั้งหมด}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.16 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอุรุด (1)

ชนิดของโลหะหนัก	อัตราส่วนของดิน:EDTA	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แคดเมียม	1:05	8.51	8.19	4.25	6.99	2.37
	1:10	12.89	25.05	13.14	17.03	6.95
	1:15	17.35	21.69	21.90	20.32	2.57
	1:20	17.02	20.87	21.27	19.72	2.35
	1:30	17.52	26.55	29.78	24.62	6.35
โครเมียม	1:05	0.41	0.65	0.95	0.67	0.27
	1:10	1.65	1.87	2.17	1.90	0.26
	1:15	5.06	3.67	6.16	4.96	1.25
	1:20	6.73	0.00	6.87	4.53	3.93
	1:30	9.17	4.45	8.70	7.44	2.60
ทองแดง	1:05	20.58	14.17	16.53	17.09	3.24
	1:10	24.16	19.68	21.98	21.94	2.24
	1:15	20.80	19.71	20.47	20.33	0.56
	1:20	21.46	22.89	22.83	22.39	0.81
	1:30	25.21	23.89	23.98	24.36	0.74
เหล็ก	1:05	2.57	2.24	2.95	2.59	0.35
	1:10	11.23	7.73	7.73	8.89	2.02
	1:15	9.51	14.28	10.79	11.53	2.47
	1:20	12.19	15.11	10.87	12.72	2.17
	1:30	15.86	18.16	15.56	16.53	1.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.16 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอุรุด (1)

ชนิดของโลหะหนัก	อัตราส่วนของดิน:EDTA	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แมงกานีส	1:05	20.10	16.29	19.03	18.47	1.97
	1:10	26.64	25.73	27.99	26.79	1.14
	1:15	20.69	29.39	26.01	25.36	4.39
	1:20	23.85	29.75	27.87	27.16	3.02
	1:30	21.74	27.65	27.65	25.68	3.41
นิกเกิล	1:05	31.59	22.65	25.57	26.61	4.56
	1:10	39.87	46.49	41.22	42.53	3.50
	1:15	64.42	56.37	41.22	54.01	11.78
	1:20	69.14	60.30	46.09	58.51	11.63
	1:30	62.31	83.20	59.83	68.45	12.84
ตะกั่ว	1:05	16.57	13.92	17.41	15.97	1.82
	1:10	19.04	23.56	26.72	23.11	3.86
	1:15	24.65	18.79	20.20	21.21	3.06
	1:20	26.46	25.71	25.87	26.01	0.39
	1:30	32.90	32.71	39.82	35.14	4.05

หมายเหตุ : $\% \text{ Removal} = (\text{ปริมาณโลหะที่ชะล้างได้} \times 100) / \text{ปริมาณโลหะทั้งหมด}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.17 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอุ้รุด (2)

ชนิดของโลหะหนัก	อัตราส่วนของดิน:EDTA	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แคดเมียม	1:05	11.70	18.07	17.21	15.66	3.46
	1:10	11.81	34.42	23.39	23.21	11.31
	1:15	34.42	24.10	36.14	31.55	6.52
	1:20	23.86	41.75	35.09	33.57	9.04
	1:30	22.95	52.64	41.75	39.11	15.02
โครเมียม	1:05	9.56	8.98	7.72	8.75	0.94
	1:10	12.77	10.75	14.34	12.62	1.80
	1:15	13.51	14.77	16.79	15.02	1.66
	1:20	20.93	25.23	19.39	21.85	3.02
	1:30	23.16	20.80	25.51	23.16	2.36
ทองแดง	1:05	37.65	39.42	42.00	39.69	2.19
	1:10	30.94	46.18	34.29	37.14	8.01
	1:15	38.53	44.79	45.54	42.96	3.85
	1:20	46.52	45.72	43.26	45.17	1.70
	1:30	46.73	47.87	60.77	51.79	7.80
เหล็ก	1:05	1.40	1.41	1.45	1.42	0.03
	1:10	2.00	2.09	1.93	2.01	0.08
	1:15	3.26	3.12	3.03	3.14	0.12
	1:20	4.49	4.39	4.20	4.36	0.15
	1:30	6.83	7.95	8.28	7.68	0.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.17 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอุรุด (2)

ชนิดของโลหะหนัก	อัตราส่วนของดิน:EDTA	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แมงกานีส	1:05	29.67	30.99	31.35	30.67	0.89
	1:10	36.38	41.66	35.19	37.74	3.45
	1:15	45.87	48.43	50.48	48.26	2.31
	1:20	55.28	46.98	50.66	50.97	4.16
	1:30	51.81	61.45	60.08	57.78	5.21
นิกเกิล	1:05	12.52	13.30	14.77	13.53	1.14
	1:10	24.97	19.41	29.68	24.69	5.14
	1:15	23.46	33.83	25.39	27.56	5.52
	1:20	27.33	34.17	26.29	29.26	4.28
	1:30	29.62	37.99	36.64	34.75	4.50
ตะกั่ว	1:05	23.20	24.81	20.94	22.98	1.95
	1:10	21.15	23.73	22.67	22.52	1.30
	1:15	18.44	21.98	27.33	22.59	4.48
	1:20	32.02	33.75	22.73	29.50	5.92
	1:30	39.24	35.61	41.03	38.63	2.77

หมายเหตุ : $\% \text{ Removal} = (\text{ปริมาณโลหะที่ชะล้างได้} \times 100) / \text{ปริมาณโลหะทั้งหมด}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.18 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินกองขยะ

ชนิดของโลหะหนัก	อัตราส่วนของดิน:EDTA	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แคดเมียม	1:05	24.54	11.33	18.91	18.26	6.63
	1:10	29.71	27.17	29.19	28.69	1.34
	1:15	35.45	37.57	30.57	34.53	3.59
	1:20	43.35	36.84	42.50	40.90	3.54
	1:30	28.62	51.51	45.78	41.97	11.91
โครเมียม	1:05	5.83	4.18	5.37	5.12	0.85
	1:10	10.55	8.94	9.91	9.80	0.81
	1:15	11.05	13.84	14.13	13.01	1.70
	1:20	16.82	17.54	16.91	17.09	0.39
	1:30	26.78	21.93	24.67	24.46	2.43
ทองแดง	1:05	50.78	57.65	56.65	55.03	3.71
	1:10	48.76	73.70	59.95	60.80	12.49
	1:15	53.79	73.12	69.71	65.54	10.32
	1:20	75.62	82.63	63.09	73.78	9.90
	1:30	70.01	73.23	92.84	78.69	12.35
เหล็ก	1:05	2.56	2.86	2.83	2.75	0.17
	1:10	5.01	4.58	4.93	4.84	0.23
	1:15	5.43	8.02	6.86	6.77	1.30
	1:20	9.00	11.14	10.45	10.20	1.09
	1:30	11.74	12.98	12.20	12.31	0.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.18 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินกองขยะ

ชนิดของโลหะหนัก	อัตราส่วนของดิน:EDTA	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แมงกานีส	1:05	34.44	38.84	38.15	37.14	2.36
	1:10	44.91	58.74	52.76	52.13	6.94
	1:15	50.49	71.73	68.48	63.57	11.44
	1:20	63.14	74.50	66.39	68.01	5.85
	1:30	70.48	81.18	81.04	77.57	6.14
นิกเกิล	1:05	4.47	8.63	8.89	7.33	2.48
	1:10	15.73	22.40	22.43	20.19	3.86
	1:15	30.80	22.56	25.99	26.45	4.14
	1:20	37.30	31.58	28.15	32.34	4.62
	1:30	29.39	42.49	37.28	36.39	6.59
ตะกั่ว	1:05	38.94	38.42	39.19	38.85	0.39
	1:10	33.48	45.41	41.94	40.28	6.14
	1:15	44.45	41.08	47.42	44.32	3.17
	1:20	45.06	48.69	40.65	44.80	4.03
	1:30	46.69	47.68	44.73	46.37	1.50

หมายเหตุ : $\% \text{ Removal} = (\text{ปริมาณโลหะที่ชะล้างได้} \times 100) / \text{ปริมาณโลหะทั้งหมด}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.19 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินแหล่งเก็บของเก่า

ชนิดของโลหะหนัก	อัตราส่วนของดิน:EDTA	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แคดเมียม	1:05	30.34	15.78	19.98	22.03	7.49
	1:10	31.35	20.51	23.52	25.13	5.60
	1:15	41.29	30.05	34.29	35.21	5.67
	1:20	33.95	37.89	37.66	36.50	2.21
	1:30	39.39	45.28	36.67	40.45	4.40
โครเมียม	1:05	3.16	2.46	2.19	2.61	0.50
	1:10	6.06	6.24	5.57	5.96	0.34
	1:15	10.37	11.24	11.19	10.93	0.49
	1:20	13.82	12.81	12.88	13.17	0.57
	1:30	15.96	14.85	11.99	14.27	2.05
ทองแดง	1:05	14.92	18.19	15.05	16.05	1.85
	1:10	17.33	20.09	26.52	21.32	4.72
	1:15	30.02	23.05	29.73	27.60	3.94
	1:20	34.85	28.44	29.66	30.98	3.40
	1:30	29.84	32.04	34.97	32.28	2.58
เหล็ก	1:05	3.47	4.25	3.91	3.88	0.39
	1:10	9.78	9.50	9.73	9.67	0.15
	1:15	17.03	16.37	15.22	16.20	0.92
	1:20	18.88	15.30	18.17	17.45	1.89
	1:30	16.40	17.59	18.57	17.52	1.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.19 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดย EDTA ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินแหล่งเก็บของเก่า

ชนิดของโลหะหนัก	อัตราส่วนของดิน:EDTA	% Removal			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แมงกานีส	1:05	13.18	13.44	11.25	12.62	1.20
	1:10	17.50	17.95	21.76	19.07	2.34
	1:15	26.67	22.91	26.81	25.47	2.21
	1:20	25.45	26.01	22.36	24.61	1.97
	1:30	22.37	19.91	19.94	20.74	1.41
นิกเกิล	1:05	20.59	22.02	17.40	20.00	2.37
	1:10	25.71	20.24	33.75	26.57	6.80
	1:15	35.19	33.79	36.80	35.26	1.51
	1:20	37.04	36.16	46.24	39.81	5.59
	1:30	46.46	50.98	41.89	46.45	4.55
ตะกั่ว	1:05	38.94	27.85	23.18	29.99	8.10
	1:10	27.20	32.88	36.90	32.33	4.87
	1:15	40.73	37.37	45.72	41.27	4.20
	1:20	39.90	40.31	45.53	41.92	3.14
	1:30	37.62	40.77	53.43	43.94	8.37

หมายเหตุ : $\% \text{ Removal} = (\text{ปริมาณโลหะที่ชะล้างได้} \times 100) / \text{ปริมาณโลหะทั้งหมด}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.20 ปริมาณแคดเมียมในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		ก่อนการชะล้าง				
		% Cd			Avg.	S.D.
		1	2	3		
ขั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	2.68	3.01	3.56	3.08	0.44
	ดินอุ้รต (2)	3.87	4.92	4.69	4.49	0.55
	ดินกองขยะ	5.18	3.67	3.77	4.21	0.85
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	2.56	2.99	2.47	2.67	0.28
ขั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	3.69	3.40	3.43	3.51	0.16
	ดินอุ้รต (2)	6.06	6.70	5.61	6.12	0.55
	ดินกองขยะ	7.45	7.06	6.29	6.93	0.59
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	6.57	4.61	4.38	5.19	1.20
ขั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	8.62	9.07	8.12	8.60	0.47
	ดินอุ้รต (2)	8.85	11.74	11.22	10.61	1.54
	ดินกองขยะ	7.06	5.35	5.06	5.82	1.08
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	6.89	7.13	7.57	7.20	0.34
ขั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	20.52	18.85	16.22	18.53	2.17
	ดินอุ้รต (2)	11.91	15.07	18.15	15.04	3.12
	ดินกองขยะ	12.08	12.33	11.47	11.96	0.44
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	13.10	12.71	11.92	12.58	0.60
ขั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	28.45	30.16	35.71	31.44	3.79
	ดินอุ้รต (2)	44.31	36.10	41.73	40.71	4.20
	ดินกองขยะ	33.90	29.20	36.49	33.20	3.70
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	32.63	32.38	30.73	31.92	1.03
ขั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	35.75	37.04	31.72	34.84	2.77
	ดินอุ้รต (2)	22.18	21.77	25.12	23.02	1.83
	ดินกองขยะ	41.78	35.41	36.45	37.88	3.42
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	41.01	37.49	42.82	40.44	2.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.21 ปริมาณแคดเมียมแบบในการสกัดเป็นลำดับชั้น (หลังการชะล้าง)

ลำดับชั้นของตัวอย่างดิน		หลังการชะล้าง					
		% Cd			Avg.	S.D.	% Removal
		1	2	3			
ชั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	1.12	1.16	1.02	1.10	0.07	64.27
	ดินอุ้รต (2)	1.04	0.71	1.16	0.97	0.23	78.41
	ดินกองขยชะ	0.82	0.89	1.15	0.95	0.17	77.36
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.71	0.83	0.62	0.72	0.11	72.94
ชั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	1.63	1.17	1.12	1.31	0.28	62.74
	ดินอุ้รต (2)	1.52	1.63	2.13	1.76	0.33	71.23
	ดินกองขยชะ	1.85	1.57	1.69	1.70	0.15	75.44
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	1.12	0.88	0.94	0.98	0.12	81.16
ชั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	3.56	3.94	3.41	3.64	0.28	57.73
	ดินอุ้รต (2)	5.13	5.44	6.05	5.54	0.47	47.79
	ดินกองขยชะ	3.59	3.32	3.28	3.40	0.17	41.65
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	3.62	2.21	2.98	2.94	0.71	59.18
ชั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	9.86	7.11	1.12	6.03	4.47	67.47
	ดินอุ้รต (2)	7.85	7.89	7.37	7.71	0.29	48.78
	ดินกองขยชะ	6.03	6.40	5.54	5.99	0.43	49.91
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	6.89	6.64	6.37	6.64	0.26	47.25
ชั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	22.50	26.55	20.35	23.13	3.15	26.42
	ดินอุ้รต (2)	30.24	25.83	32.49	29.52	3.39	27.49
	ดินกองขยชะ	23.23	20.80	20.77	21.60	1.41	34.94
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	22.80	24.10	17.56	21.49	3.46	32.68
ชั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	31.85	32.89	36.62	33.79	2.51	3.01
	ดินอุ้รต (2)	17.93	19.96	18.98	18.95	1.02	17.68
	ดินกองขยชะ	31.09	32.64	28.20	30.64	2.26	19.11
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	33.50	35.25	39.03	35.93	2.83	11.16

หมายเหตุ : % Removal = $100 - [(\% \text{ โลหะหลังชะล้าง} \times 100) / (\% \text{ โลหะก่อนชะล้าง})]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.22 ปริมาณโครเมียมในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		ก่อนการชะล้าง				
		% Cr			Avg.	S.D.
		1	2	3		
ชั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	3.66	3.10	3.26	3.34	0.29
	ดินอุ้รต (2)	2.69	2.44	3.11	2.74	0.34
	ดินกองขยะ	1.49	1.90	1.29	1.56	0.31
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	1.57	1.90	1.60	1.69	0.19
ชั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	5.49	4.95	5.84	5.43	0.45
	ดินอุ้รต (2)	7.23	6.22	7.65	7.03	0.73
	ดินกองขยะ	7.18	6.37	7.59	7.05	0.62
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	4.64	5.99	5.03	5.22	0.69
ชั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	1.83	1.97	2.13	1.98	0.15
	ดินอุ้รต (2)	3.95	5.46	4.29	4.57	0.79
	ดินกองขยะ	8.06	8.47	7.18	7.91	0.66
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	5.50	5.53	5.34	5.45	0.10
ชั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	2.81	3.64	3.10	3.18	0.42
	ดินอุ้รต (2)	3.19	3.53	2.77	3.16	0.38
	ดินกองขยะ	4.34	5.49	4.47	4.77	0.63
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	9.98	9.55	9.15	9.56	0.41
ชั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	11.56	12.16	10.73	11.48	0.72
	ดินอุ้รต (2)	16.00	13.85	16.67	15.50	1.47
	ดินกองขยะ	17.67	16.70	17.46	17.28	0.51
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	14.49	14.78	14.15	14.47	0.32
ชั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	75.44	71.78	76.56	74.59	2.50
	ดินอุ้รต (2)	66.54	72.59	61.84	66.99	5.39
	ดินกองขยะ	66.14	56.93	61.26	61.44	4.61
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	62.87	66.80	61.15	63.61	2.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.23 ปริมาณโครเมียมในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		หลังการชะล้าง					
		% Cr			Avg.	S.D.	% Removal
		1	2	3			
ขั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	0.54	0.59	0.38	0.50	0.11	85.01
	ดินอุ้รต (2)	0.25	0.67	0.50	0.48	0.21	82.65
	ดินกองขยะ	0.14	0.41	0.27	0.27	0.14	82.61
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.25	0.28	0.34	0.29	0.05	83.03
ขั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	1.15	1.24	1.76	1.38	0.33	74.50
	ดินอุ้รต (2)	0.76	1.09	1.34	1.06	0.30	84.86
	ดินกองขยะ	0.88	1.02	0.95	0.95	0.07	86.54
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.80	0.68	0.89	0.79	0.11	84.90
ขั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	1.67	1.88	1.31	1.62	0.28	18.18
	ดินอุ้รต (2)	2.94	3.44	3.86	3.42	0.46	25.15
	ดินกองขยะ	6.91	6.44	7.45	6.94	0.51	12.29
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	4.91	4.97	4.85	4.91	0.06	9.94
ขั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	2.72	2.93	2.89	2.85	0.11	10.57
	ดินอุ้รต (2)	2.02	1.34	1.09	1.48	0.48	53.10
	ดินกองขยะ	3.25	2.17	3.46	2.96	0.69	37.91
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	8.17	9.06	8.41	8.54	0.46	10.60
ขั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	10.81	9.42	10.25	10.16	0.70	11.55
	ดินอุ้รต (2)	13.44	15.59	15.19	14.74	1.14	4.91
	ดินกองขยะ	10.08	13.45	12.90	12.14	1.80	29.71
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	11.30	12.48	13.16	12.31	0.94	14.93
ขั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	66.80	72.81	70.74	70.12	3.05	6.00
	ดินอุ้รต (2)	67.55	56.46	62.51	62.17	5.55	7.19
	ดินกองขยะ	59.09	56.11	57.74	57.65	1.49	6.18
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	60.29	57.10	62.75	60.05	2.83	5.60

หมายเหตุ : % Removal = $100 - [(\% \text{ โลหะหลังชะล้าง} \times 100) / (\% \text{ โลหะก่อนชะล้าง})]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.24 ปริมาณทองแดงในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		ก่อนการชะล้าง				
		% Cu			Avg.	S.D.
		1	2	3		
ขั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	1.54	0.73	1.82	1.36	0.57
	ดินอุ้รต (2)	3.16	1.50	2.99	2.55	0.92
	ดินกองขยะ	1.39	1.86	1.49	1.58	0.25
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.69	0.57	0.60	0.62	0.06
ขั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	5.38	5.07	5.56	5.34	0.25
	ดินอุ้รต (2)	6.62	7.40	5.84	6.62	0.78
	ดินกองขยะ	5.88	5.61	5.08	5.52	0.41
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	13.06	13.85	12.31	13.08	0.77
ขั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	11.87	11.45	10.19	11.17	0.87
	ดินอุ้รต (2)	11.44	12.32	10.56	11.44	0.88
	ดินกองขยะ	14.66	15.26	17.36	15.76	1.41
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	4.67	4.93	4.58	4.73	0.18
ขั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	39.18	32.02	32.54	34.58	3.99
	ดินอุ้รต (2)	24.59	27.34	25.62	25.85	1.39
	ดินกองขยะ	23.22	28.17	24.98	25.45	2.51
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	36.65	33.71	30.13	33.50	3.27
ขั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	43.94	41.59	40.28	41.94	1.86
	ดินอุ้รต (2)	46.16	52.76	48.64	49.19	3.33
	ดินกองขยะ	48.78	52.14	36.44	45.79	8.27
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	34.05	43.56	46.65	41.42	6.57
ขั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	5.88	6.26	4.70	5.61	0.82
	ดินอุ้รต (2)	2.29	3.59	7.18	4.35	2.53
	ดินกองขยะ	10.30	7.73	10.30	9.45	1.49
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	5.96	6.66	7.36	6.66	0.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.25 ปริมาณทองแดงในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		หลังการชะล้าง					
		% Cu			Avg.	S.D.	% Removal
		1	2	3			
ขั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	0.19	0.26	0.36	0.27	0.08	80.27
	ดินอุ้รต (2)	0.40	0.97	0.60	0.66	0.29	74.27
	ดินกองขยะ	0.24	0.46	0.32	0.34	0.11	78.57
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.17	0.17	0.15	0.16	0.01	73.57
ขั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	0.77	0.66	0.84	0.76	0.09	85.82
	ดินอุ้รต (2)	1.22	0.90	1.69	1.27	0.40	80.81
	ดินกองขยะ	0.86	0.80	0.76	0.81	0.05	85.37
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	2.76	2.74	2.90	2.80	0.09	78.59
ขั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	2.74	3.04	3.13	2.97	0.20	73.41
	ดินอุ้รต (2)	2.64	2.19	2.87	2.57	0.34	77.56
	ดินกองขยะ	7.63	5.52	5.64	6.26	1.18	60.25
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	1.89	2.04	2.00	1.98	0.07	58.19
ขั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	17.10	12.52	12.28	13.97	2.72	59.61
	ดินอุ้รต (2)	7.18	5.68	6.49	6.45	0.75	75.05
	ดินกองขยะ	6.07	6.90	5.24	6.07	0.83	76.15
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	17.84	20.55	21.96	20.12	2.09	39.94
ขั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	15.99	20.08	17.17	17.74	2.10	57.69
	ดินอุ้รต (2)	16.67	13.12	17.71	15.83	2.41	67.82
	ดินกองขยะ	8.16	8.32	8.51	8.33	0.18	80.27
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	11.59	12.62	12.43	12.21	0.55	70.52
ขั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	13.50	13.82	13.44	13.59	0.20	-142.07
	ดินอุ้รต (2)	9.07	5.28	4.78	6.38	2.34	-46.56
	ดินกองขยะ	5.56	8.07	4.61	6.08	1.79	35.65
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	4.33	5.70	4.21	4.75	0.83	28.71

หมายเหตุ : % Removal = $100 - [(\% \text{ โลหะหลังชะล้าง} \times 100) / (\% \text{ โลหะก่อนชะล้าง})]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.26 ปริมาณเหล็กในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		ก่อนการชะล้าง				
		% Fe			Avg.	S.D.
		1	2	3		
ขั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	0.41	0.53	0.44	0.46	0.06
	ดินอุ้รต (2)	0.25	0.12	0.22	0.20	0.07
	ดินกองขยะ	0.60	0.44	0.68	0.58	0.12
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
ขั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00
	ดินอุ้รต (2)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00
	ดินกองขยะ	0.07	0.06	0.06	0.06	0.01
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.09	0.10	0.10	0.10	0.01
ขั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	0.91	0.97	0.95	0.94	0.03
	ดินอุ้รต (2)	0.16	0.14	0.14	0.15	0.01
	ดินกองขยะ	0.14	0.16	0.15	0.15	0.01
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.28	0.26	0.24	0.26	0.02
ขั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	17.54	17.03	18.19	17.59	0.58
	ดินอุ้รต (2)	16.22	16.49	16.34	16.35	0.14
	ดินกองขยะ	16.25	15.76	16.85	16.29	0.54
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	17.42	17.49	18.25	17.72	0.46
ขั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	21.49	21.58	21.69	21.59	0.10
	ดินอุ้รต (2)	17.96	17.99	19.12	18.36	0.66
	ดินกองขยะ	19.99	20.87	20.25	20.37	0.46
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	19.43	16.79	18.30	18.17	1.32
ขั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	59.56	59.56	59.08	59.40	0.28
	ดินอุ้รต (2)	64.61	64.48	65.63	64.91	0.63
	ดินกองขยะ	58.62	65.49	63.56	62.56	3.54
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	64.48	62.10	64.62	63.73	1.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.27 ปริมาณเหล็กในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		หลังการชะล้าง					
		% Fe			Avg.	S.D.	% Removal
		1	2	3			
ขั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	0.10	0.07	0.10	0.09	0.02	80.59
	ดินอุ้รต (2)	0.04	0.05	0.05	0.05	0.00	76.04
	ดินกองขยะ	0.23	0.32	0.29	0.28	0.04	51.53
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	96.42
ขั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97.43
	ดินอุ้รต (2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	95.25
	ดินกองขยะ	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	70.63
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	78.43
ขั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	0.40	0.51	0.53	0.48	0.07	49.28
	ดินอุ้รต (2)	0.03	0.04	0.03	0.03	0.00	77.08
	ดินกองขยะ	0.07	0.07	0.06	0.07	0.00	54.99
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.13	0.11	0.13	0.12	0.01	52.72
ขั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	15.08	16.43	15.84	15.78	0.68	10.24
	ดินอุ้รต (2)	13.09	10.61	9.78	11.16	1.72	31.73
	ดินกองขยะ	8.52	12.08	10.58	10.39	1.79	36.19
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	16.67	15.73	14.42	15.61	1.13	11.91
ขั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	17.69	19.55	18.26	18.50	0.95	14.29
	ดินอุ้รต (2)	8.13	0.71	7.57	5.47	4.13	70.19
	ดินกองขยะ	14.34	13.53	14.71	14.20	0.60	30.32
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	12.83	11.96	13.51	12.76	0.78	29.76
ขั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	59.66	60.16	59.43	59.75	0.38	-0.60
	ดินอุ้รต (2)	85.02	68.16	81.73	78.30	8.94	-20.63
	ดินกองขยะ	56.02	65.64	64.70	62.12	5.31	0.70
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	64.38	64.59	66.41	65.13	1.12	-2.19

หมายเหตุ : % Removal = $100 - [(\% \text{ โลหะหลังชะล้าง} \times 100) / (\% \text{ โลหะก่อนชะล้าง})]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.28 ปริมาณแมงกานีสในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		ก่อนการชะล้าง				
		% Mn			Avg.	S.D.
		1	2	3		
ชั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	0.40	0.42	0.04	0.29	0.21
	ดินอุ้รต (2)	1.06	0.96	1.04	1.02	0.05
	ดินกองขยะ	0.34	0.25	0.35	0.31	0.05
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.11	0.14	0.16	0.13	0.03
ชั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	4.61	4.68	4.71	4.67	0.05
	ดินอุ้รต (2)	9.63	10.12	9.87	9.87	0.25
	ดินกองขยะ	7.44	8.91	8.61	8.32	0.77
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	3.55	3.17	3.45	3.39	0.20
ชั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	13.44	14.51	14.38	14.11	0.59
	ดินอุ้รต (2)	11.93	12.94	12.81	12.56	0.55
	ดินกองขยะ	21.59	23.63	23.07	22.77	1.05
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	13.72	11.50	14.37	13.20	1.51
ชั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	21.82	23.15	23.25	22.74	0.80
	ดินอุ้รต (2)	57.11	55.05	56.34	56.17	1.04
	ดินกองขยะ	56.27	42.93	52.83	50.68	6.92
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	25.44	20.71	24.60	23.58	2.52
ชั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	6.52	6.54	6.59	6.55	0.04
	ดินอุ้รต (2)	7.79	7.41	7.76	7.65	0.21
	ดินกองขยะ	8.55	7.67	8.68	8.30	0.55
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	5.26	4.67	5.06	5.00	0.30
ชั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	46.33	59.40	49.76	51.83	6.77
	ดินอุ้รต (2)	12.94	12.60	12.65	12.73	0.19
	ดินกองขยะ	11.46	8.13	9.29	9.62	1.69
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	59.76	45.59	58.73	54.70	7.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.29 ปริมาณเมงกานีสในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		หลังการชะล้าง					
		% Mn			Avg.	S.D.	% Removal
		1	2	3			
ขั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	0.06	0.10	0.08	0.08	0.02	72.10
	ดินอุ้รต (2)	0.08	0.14	0.12	0.11	0.03	88.82
	ดินกองขยะ	0.05	0.04	0.03	0.04	0.01	87.32
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	86.11
ขั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	1.32	1.00	1.16	1.16	0.16	75.14
	ดินอุ้รต (2)	1.47	1.48	1.60	1.52	0.08	84.63
	ดินกองขยะ	1.09	1.46	1.30	1.28	0.18	84.58
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.55	0.42	0.63	0.53	0.10	84.30
ขั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	8.58	6.68	7.38	7.55	0.96	46.52
	ดินอุ้รต (2)	3.58	4.46	4.27	4.10	0.46	67.33
	ดินกองขยะ	4.90	5.53	5.15	5.19	0.31	77.18
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	5.52	4.88	5.02	5.14	0.34	61.04
ขั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	10.21	7.55	9.66	9.14	1.41	59.47
	ดินอุ้รต (2)	23.13	27.55	26.44	25.71	2.30	54.23
	ดินกองขยะ	11.31	9.31	10.76	10.46	1.03	79.36
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	7.25	6.60	7.50	7.12	0.46	69.82
ขั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	4.60	4.31	4.53	4.48	0.15	31.54
	ดินอุ้รต (2)	2.48	2.62	2.12	2.40	0.25	68.58
	ดินกองขยะ	1.44	1.67	1.73	1.61	0.15	80.58
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	1.26	2.23	2.04	1.85	0.51	63.06
ขั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	45.09	47.72	46.04	46.28	1.33	10.71
	ดินอุ้รต (2)	12.01	6.08	9.27	9.12	2.96	28.36
	ดินกองขยะ	5.53	6.20	6.79	6.18	0.63	35.83
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	41.75	34.44	39.69	38.63	3.77	29.38

หมายเหตุ : % Removal = $100 - [(\% \text{ โลหะหลังชะล้าง} \times 100) / (\% \text{ โลหะก่อนชะล้าง})]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.30 ปริมาณนิกเกิลในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		ก่อนการชะล้าง				
		% Ni			Avg.	S.D.
		1	2	3		
ขั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	0.18	1.41	1.26	0.95	0.67
	ดินอุ้รต (2)	3.29	2.45	3.13	2.95	0.45
	ดินกองขยะ	0.78	2.94	0.98	1.57	1.19
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	1.76	2.74	1.83	2.11	0.55
ขั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	10.51	13.59	8.49	10.87	2.57
	ดินอุ้รต (2)	9.72	12.96	11.88	11.52	1.65
	ดินกองขยะ	6.66	6.96	8.12	7.25	0.77
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	5.97	5.39	9.70	7.02	2.34
ขั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	17.61	19.21	16.01	17.61	1.60
	ดินอุ้รต (2)	25.58	20.01	18.01	21.20	3.92
	ดินกองขยะ	21.52	18.94	19.99	20.15	1.30
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	19.79	16.72	22.62	19.71	2.95
ขั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	27.68	24.43	29.31	27.14	2.49
	ดินอุ้รต (2)	15.04	19.36	21.40	18.60	3.25
	ดินกองขยะ	17.18	23.63	20.41	20.41	3.22
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	30.02	27.12	25.18	27.44	2.44
ขั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	17.33	25.52	30.63	24.49	6.71
	ดินอุ้รต (2)	22.71	25.96	19.47	22.71	3.24
	ดินกองขยะ	17.10	22.23	15.39	18.24	3.56
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	10.55	16.57	13.56	13.56	3.01
ขั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	21.49	14.33	21.02	18.95	4.01
	ดินอุ้รต (2)	21.02	31.54	16.47	23.01	7.73
	ดินกองขยะ	37.54	33.82	25.83	32.40	5.98
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	27.58	29.60	33.30	30.16	2.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.31 ปริมาณนิกเกิลในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		หลังการชะล้าง					
		% Ni			Avg.	S.D.	% Removal
		1	2	3			
ขั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	0.08	0.00	0.22	0.10	0.11	89.41
	ดินอุ้รต (2)	1.07	0.69	1.00	0.92	0.20	68.79
	ดินกองขยะ	0.29	0.26	0.16	0.24	0.07	84.96
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.50	0.36	0.59	0.48	0.11	77.14
ขั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	3.50	1.70	3.40	2.87	1.01	73.62
	ดินอุ้รต (2)	4.32	2.22	3.24	3.26	1.05	71.69
	ดินกองขยะ	1.19	2.37	2.09	1.88	0.61	74.07
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	1.57	1.40	1.37	1.45	0.11	79.41
ขั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	5.22	6.68	5.01	5.64	0.91	67.99
	ดินอุ้รต (2)	6.23	4.16	6.32	5.57	1.23	73.73
	ดินกองขยะ	8.06	4.38	6.58	6.34	1.85	68.53
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	8.72	8.95	10.94	9.54	1.22	51.63
ขั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	19.81	11.56	16.51	15.96	4.15	41.20
	ดินอุ้รต (2)	13.64	11.54	15.74	13.64	2.10	26.66
	ดินกองขยะ	10.70	9.66	11.47	10.61	0.91	48.00
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	17.32	13.47	15.39	15.39	1.92	43.90
ขั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	12.38	7.66	12.76	10.93	2.84	55.37
	ดินอุ้รต (2)	9.53	10.76	6.49	8.93	2.20	60.70
	ดินกองขยะ	8.72	10.24	5.22	8.06	2.58	55.80
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	7.53	6.03	3.01	5.52	2.30	59.26
ขั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	7.77	7.16	14.01	9.65	3.79	49.08
	ดินอุ้รต (2)	16.82	19.71	16.47	17.67	1.78	23.22
	ดินกองขยะ	20.85	29.59	17.22	22.55	6.36	30.38
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	11.82	14.80	11.10	12.57	1.96	58.31

หมายเหตุ : % Removal = $100 - [(\% \text{ โลหะหลังชะล้าง} \times 100) / (\% \text{ โลหะก่อนชะล้าง})]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.32 ปริมาณตะกั่วในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (ก่อนการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		ก่อนการชะล้าง				
		% Pb			Avg.	S.D.
		1	2	3		
ขั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	5.57	3.57	5.35	4.83	1.10
	ดินอุ้รต (2)	2.33	2.87	3.49	2.90	0.58
	ดินกองขยะ	5.08	2.75	4.13	3.98	1.17
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	1.94	1.04	1.29	1.42	0.46
ขั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	6.53	4.55	5.69	5.59	0.99
	ดินอุ้รต (2)	5.92	7.24	7.90	7.02	1.01
	ดินกองขยะ	8.72	6.11	6.98	7.27	1.33
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	4.26	4.61	4.29	4.39	0.19
ขั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	7.83	9.20	7.64	8.22	0.85
	ดินอุ้รต (2)	9.46	10.09	8.83	9.46	0.63
	ดินกองขยะ	9.20	7.59	7.55	8.11	0.94
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	6.93	6.24	5.15	6.11	0.90
ขั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	26.39	23.56	25.44	25.13	1.44
	ดินอุ้รต (2)	46.91	52.16	48.76	49.27	2.66
	ดินกองขยะ	25.59	21.91	24.84	24.11	1.94
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	46.63	45.34	45.98	45.98	0.65
ขั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	26.80	26.99	32.39	28.72	3.17
	ดินอุ้รต (2)	17.52	19.37	22.60	19.83	2.57
	ดินกองขยะ	17.11	18.08	22.09	19.10	2.64
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	16.41	17.28	17.67	17.12	0.64
ขั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	36.43	22.75	23.33	27.50	7.74
	ดินอุ้รต (2)	15.94	5.91	12.71	11.52	5.12
	ดินกองขยะ	29.83	38.47	43.97	37.43	7.13
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	24.98	22.71	27.25	24.98	2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.33 ปริมาณตะกั่วในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (หลังการชะล้าง)

ลำดับขั้นของตัวอย่างดิน		หลังการชะล้าง					
		% Pb			Avg.	S.D.	% Removal
		1	2	3			
ชั้นที่ 1	ดินอุ้รต (1)	1.08	0.87	1.01	0.99	0.11	79.53
	ดินอุ้รต (2)	0.13	0.99	0.89	0.67	0.47	76.90
	ดินกองขยะ	1.18	0.81	0.87	0.95	0.20	76.06
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	0.21	0.25	0.14	0.20	0.05	85.72
ชั้นที่ 2	ดินอุ้รต (1)	0.82	0.55	1.16	0.84	0.30	84.92
	ดินอุ้รต (2)	1.31	1.42	1.20	1.31	0.11	81.35
	ดินกองขยะ	1.31	1.61	1.22	1.38	0.20	81.04
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	1.05	0.79	1.01	0.95	0.14	78.27
ชั้นที่ 3	ดินอุ้รต (1)	2.41	2.51	2.12	2.35	0.20	71.48
	ดินอุ้รต (2)	2.05	1.82	2.16	2.01	0.17	78.75
	ดินกองขยะ	2.44	1.72	2.07	2.07	0.36	74.43
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	1.67	1.53	1.48	1.56	0.10	74.44
ชั้นที่ 4	ดินอุ้รต (1)	12.80	10.80	13.06	12.22	1.24	51.38
	ดินอุ้รต (2)	27.68	28.22	34.08	29.99	3.55	39.13
	ดินกองขยะ	5.15	5.63	5.45	5.41	0.24	77.57
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	17.87	31.73	27.64	25.75	7.12	44.01
ชั้นที่ 5	ดินอุ้รต (1)	19.01	13.96	11.17	14.71	3.97	48.79
	ดินอุ้รต (2)	15.13	12.11	12.66	13.30	1.61	32.92
	ดินกองขยะ	4.19	6.17	4.12	4.83	1.17	74.72
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	8.63	9.47	9.24	9.11	0.43	46.78
ชั้นที่ 6	ดินอุ้รต (1)	26.70	24.96	28.53	26.73	1.78	2.80
	ดินอุ้รต (2)	5.52	3.79	3.60	4.30	1.06	62.65
	ดินกองขยะ	27.77	64.76	32.38	41.64	20.16	-11.25
	ดินแหล่งเก็บของเก่า	25.16	29.35	23.96	26.16	2.83	-4.72

หมายเหตุ : % Removal = $100 - [(\% \text{ โลหะหลังชะล้าง} \times 100) / (\% \text{ โลหะก่อนชะล้าง})]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้