การล้างโลหะหนักออกจากดินที่ปนเปื้อนโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และการนำสารละลายผสมกลับมาใช้ใหม่

WASHING OF HEAVY METALS FROM CONTAMINATED SOIL USING MIXTURE OF SODIUM EDTA AND SODIUM METABISULFITE AND RECYCLING OF THE MIXTURE

นริศรา เนียมสุทธิ์
NARITSARA NAMRIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

ISBN 974-13-2464-1

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การล้างโลหะหนักออกจากดินที่ปนเปื้อนโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และการนำสารละลายผสมกลับมาใช้ใหม่

WASHING OF HEAVY METALS FROM CONTAMINATED SOIL USING MIXTURE OF SODIUM EDTA AND SODIUM METABISULFITE AND RECYCLING OF THE MIXTURE

นริศรา เนียมฤทธิ์

NARITSARA NIAMRIT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 63480
วัน,เดือน,ปี 29 ส.ค. 2549

ข.....
ง.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2464-1

WASHING OF HEAVY METALS FROM CONTAMINATED SOIL USING MIXTURE OF SODIUM EDTA AND SODIUM METABISULFITE AND RECYCLING OF THE MIXTURE

NARITSARA NIAMRIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

ISBN 974-15-2464-1

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การล้างโลหะหนักออกจากดินที่ปนเปื้อนโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และการนำสารละลายผสมกลับมาใช้ใหม่
WASHING OF HEAVY METALS FROM CONTAMINATED SOIL USING MIXTURE OF SODIUM EDTA AND SODIUM METABISULFITE AND RECYCLING OF THE MIXTURE

ชื่อนักศึกษา นางสาวนริศรา เนียมฤทธิ์

รหัสประจำตัว 46064504

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.สุวรรณี	จรรยาพูน	
ผศ.ดร.ชมพูนุท	ไชยรักษ์	
ผศ.พรรษวรรณ	ตันทวี	
...ดร.เสาวภาค	สุขตระกูลเวศ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 3 เมษายน 2549 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬาภรณวลัยลักษณ์ 1 ห้อง 602

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 29 **เดือน** กรกฎาคม **พ.ศ.** 2549

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การล้างโลหะหนักจากดินที่ปนเปื้อนโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่
นักศึกษา	นริศรา เนียมฤทธิ์
รหัสประจำตัว	46064504
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในการล้างทองแดง เหล็ก แมงกานีสและตะกั่วออกจากดินที่ปนเปื้อน นอกจากนี้ยังมุ่งที่จะศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำสารละลายทั้ง 2 ชนิดกลับมาใช้ใหม่ ดินที่ใช้ทดลองเป็นดินปนเปื้อนที่สุ่มมาจากสถานที่ต่างๆ คือ จังหวัดลพบุรี (ตำบลลำนารายณ์, ตำบลชัยบาดาลและตำบลท่าหลวง) และจังหวัดกรุงเทพมหานคร (เขตลาดกระบัง) ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน พบว่าดินทั้ง 4 ตัวอย่างเป็นดินทราย มีเหล็กปนเปื้อนในปริมาณที่สูงที่สุด คืออยู่ในช่วงประมาณ 16,000-35,000 พีพีเอ็ม ส่วนแมงกานีส ทองแดงและตะกั่วส่วนมากพบว่ามีปริมาณอยู่ในหลักร้อย การทดลองสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกทำการทดลองแบบครั้ง โดยแปรผันค่าความเข้มข้นของสารละลายทั้ง 2 ชนิด และแปรผันอัตราส่วนระหว่างปริมาณดินกับปริมาตรของสารละลาย จากการทดลองพบว่าสารละลายที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะสูงที่สุดคือ สารละลาย 0.15 โมลาร์ โซเดียมอีดีทีเอและสารผสมระหว่าง 0.10 โมลาร์ โซเดียมอีดีทีเอกับ 0.25 โมลาร์ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ส่วนอัตราส่วนที่เหมาะสมในการล้างดิน คือ ดิน 1 กรัม ต่อ สารละลาย 30 มิลลิลิตร ขั้นตอนที่สองทำการล้างดินแบบคอลัมน์โดยให้สารละลายทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวข้างต้นปริมาตร 300 มิลลิลิตรไหลผ่านดิน 10 กรัมที่บรรจุในคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 1.2 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างน้ำชะที่ออกมาจากคอลัมน์ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะอย่างต่อเนื่อง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโลหะทุกชนิดถูกชะออกมามากขึ้นเมื่อปริมาตรสารละลายที่ใช้ชะมากขึ้น โดยมากเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะหนักโดยใช้โซเดียมอีดีทีเอจะอยู่ที่ 20.53-35.74 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงที่สุดที่พบคือ 49.19-61.90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการกำจัดทองแดงและแมงกานีสออกจากดินตำบลท่าหลวง ตำบลลำนารายณ์ และดินจากจังหวัดกรุงเทพฯ โดยมากเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะหนักโดยใช้สารละลาย

ผสมจะอยู่ที่ 21.80-49.21 เปอร์เซ็นต์ ทองแดงถูกกำจัดด้วยสารละลายทั้ง 2 ชนิดได้น้อยที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.66-4.52 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองล้างโลหะแบบคอลัมน์พบว่าสารละลายผสมมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะสูงกว่าสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ขั้นตอนที่สามทำการศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักที่อยู่ในรูปต่างๆในดินโดยวิธีสกัดดินแบบลำดับขั้น พบว่าก่อนล้างดินด้วยสารละลายทั้งสอง โลหะส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปรีดิวซ์ รูปออกซิไดส์และรูปที่เหลือ หลังจากการล้างดินแบบครั้ง พบว่าสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ มีประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าโลหะหนักที่อยู่ในรูปอื่นๆ และสารละลายผสมมีประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักที่อยู่ในรูปรีดิวซ์ รูปออกซิไดส์และรูปที่เหลือได้มากกว่ารูปอื่นๆ และหลังการล้างดินแบบคอลัมน์ พบว่าสารละลายโซเดียมอีดีทีเอมีประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักที่อยู่ในรูปรีดิวซ์ รูปออกซิไดส์ รูปที่สามารถละลายในกรดได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี และสารละลายผสมมีประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักที่อยู่ในรูปรีดิวซ์ และรูปออกซิไดส์มากกว่ารูปอื่นๆ ขั้นตอนสุดท้ายทำการทดลองนำสารละลายทั้งสองชนิดกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้วิธีการตกตะกอนโลหะด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) ผลการศึกษาคือสารละลายโซเดียมอีดีทีเอสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด 4 ครั้ง โดยในครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะลดลงมาก และในครั้งที่ 4 สารละลายโซเดียมอีดีทีเอสามารถกำจัดได้เพียงโลหะเหล็กเท่านั้น และสารละลายผสม สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 4 ครั้งเช่นเดียวกัน แต่ประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะลดลงเล็กน้อยเมื่อนำกลับมาชะล้างโลหะครั้งต่อไป และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างโลหะหนักของสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกับสารละลายผสม พบว่าสารละลายผสมมีประสิทธิภาพในการล้างโลหะหนักดีกว่าสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ

คำสำคัญ : การนำกลับมาใช้ใหม่ การล้างดิน เมตาไบซัลไฟต์ โลหะหนัก สารคีเลต อีดีทีเอ

Thesis Title	Washing of Heavy Metals from Contaminated Soil using Mixture of Sodium EDTA and Sodium Metabisulfite and Recycling of the Mixture
Student	Ms. Narissara Niamrit
Student ID.	46064504
Degree	Master of Science
Program	Environmental Chemistry
Year	2006
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Chompoonut Chaiyaraksa

ABSTRACT

This research studied the efficiency of sodium EDTA (Na_2EDTA) and a mixture of sodium EDTA and sodium metabisulfite ($Na_2S_2O_5$) to wash copper, iron, manganese and lead from contaminated soils. The possibility of recycling these two solutions was also investigated. The used soils were collected from different sources in Lopburi province (T. Lumnarai, T. Chaibadan and T. Thalaung) and Bangkok province (Ladkrabrang). The chemical and physical characteristics of all soils were analyzed. It was found that all samples were sandy soils. The amount of iron was found highest as in the range of 16,000-35,000 ppm. Manganese, copper and lead were found in the amount of a few hundred ppm. The experiment can be divided into 4 sections. Batch washing was carried out in the first section. The concentration of both solutions and the soil to solution ratio were varied. From experiments, solutions that gave highest efficiency to remove metal were 0.15 M Na_2EDTA and mixture of 0.1 M Na_2EDTA and 0.25 M $Na_2S_2O_5$. The suitable soil to solution ratio was 1 g : 30 ml. Column washing was carried out in the second section. Three hundred milliliters of both solutions were pumped into 10 grams of soil, that packed into column, with 1.2 ml/min flow rate. The eluent was collected continuously to analyze metal concentration. Results show that all metals could be washed more when the amount of both solutions increased. Mostly, the percentage of metal that could be removed by Na_2EDTA was in the range of 20.53-35.74%. The highest removal percentage was at 40.19-61.90% and that was the percentage of removal of copper and manganese from Lopburi province (T. Lumnarai, and T. Thalaung) soil and Bangkok province soil. Mostly, the percentage of metal that could be removed by the mixture was in the range of 21.80-49.21%. Iron could be removed less as about 2.66-4.52% by both solutions. In the experiment of column washing, the mixture gave higher

efficiency to remove metal than Na_2EDTA. In the third section, the sequential extraction was conducted to study of what form that metal was removed. Before washing, metals were mostly found in reducible form, oxidizable form and residual form. After batch washing, it was found that Na_2EDTA could remove metals in water soluble form and exchangeable form more than others. The mixture could remove metals in reducible form, oxidizable form and residual form most. After column washing, it was found that Na_2EDTA could remove metals in reducible form, oxidizable form, acid soluble form and exchangeable form more than water soluble form. The mixture could remove metals in reducible form and oxidizable form more than others. The last section was the experiment on recycling of both solutions by precipitation of metal using 50% $Ca(OH)_2$ solution (v/w). Sodium EDTA could be reused 4 times. At the second time and third time of using, the washing efficiency were highly reduced. The fourth time of using, only iron could be removed and at very low amount. The mixture could also be reused 4 times. The metal removal efficiency was slightly reduce when using recycle mixture to wash metal from soil. The recycle mixture gave higher metal removal efficiency than the recycle Na_2EDTA.

Keywords : chelating agent, EDTA, heavy metal, metabisulfite, recycling, soil washing

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. สุวรรณี จรรยาพูน ผศ. พรรษวรรณ ตันทวี และ ผศ. ดร. เสาวภาค สุขตระกูลเวศ ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำเป็นอย่างดีตลอดเวลา จนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อนๆ น้องๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

นอกเหนือจากบุคคลที่กล่าวมาแล้ว ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ

นริศรา เนียมฤทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	XI
สารบัญรูป	XV
คำย่อและสัญลักษณ์	XVII
บทที่ 1. บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 มลพิษของดิน	4
2.1.1 นิยามและความหมาย	4
2.1.2 แหล่งที่มาและการสะสม	4
2.2 ธาตุพิษในดิน	4
2.3 คุณลักษณะของดิน	5
2.3.1 ความเป็นกรดของดิน	5
2.3.1.1 แหล่งที่มาของความเป็นกรดในดิน	5
2.3.1.1.1 อินทรียวัตถุหรือฮิวมัส	5
2.3.1.1.2 คอลลอยด์พวกสารอนินทรีย์	6
2.3.1.1.3 เกลือที่ละลายน้ำได้	6
2.3.1.2 การวัดพีเอชของดิน	7
2.3.1.2.1 การใช้วิธีเทียบสี	7
2.3.1.2.2 การวัดโดยใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า	7
2.3.2 ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก	8

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.3 อินทรียวัตถุในดิน 9

2.4 การใช้ผลวิเคราะห์ดินทางกายภาพ 11

2.4.1 เนื้อดิน 11

2.4.2 ความหนาแน่นรวมของดิน 11

2.4.3 ความชื้นดิน 11

2.5 การใช้ผลวิเคราะห์ดินทางเคมี 11

2.5.1 ความจุการแลกเปลี่ยนไอออนบวก 11

2.5.2 ไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้และความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ 12

2.5.3 ค่าระดับความเป็นกรดด่าง 13

2.5.4 ค่าอิ่มตัวเบส 13

2.5.5 ค่าเหล็กอิสระหรือเหล็กที่สกัดได้ 13

2.6 โลหะหนัก 13

2.6.1 สมบัติและความเป็นพิษของโลหะหนัก 13

2.6.2 แหล่งกำเนิดของสารโลหะหนัก 13

2.6.3 ลักษณะที่สำคัญของโลหะหนัก 14

2.6.3.1 ทองแดง 14

2.6.3.2 เหล็ก 16

2.6.3.3 แมงกานีส 17

2.6.3.4 ตะกั่ว 18

2.7 วิธีการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน 20

2.8 การล้างดิน 21

2.8.1 การสกัดด้วยน้ำ 22

2.8.2 การใช้สารละลายสกัดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ 22

2.8.2.1 การล้างดินด้วยสารประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์ 22

2.8.2.2 การล้างดินด้วยสารประกอบรีดิวซิงเอเจนต์ 26

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.8.3 การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในดิน..... 28
2.8.3.1 การกำจัดสิ่งปนเปื้อนโดยใช้ความร้อน..... 28
2.8.3.2 การขุดดินเป็นทาง..... 28
2.8.3.3 การตรึงโลหะหนักไว้ในดิน..... 28
2.8.3.4 การใช้พืช..... 28
2.9 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชัน..... 29
2.10 การสกัดแบบลำดับขั้น..... 29
2.11 การตกตะกอนโลหะหนักด้วยไฮดรอกไซด์ ซัลไฟด์ และคาร์บอเนต..... 31
2.11.1 การตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ 31
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 34

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... **37**
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี..... 37
3.1.1 อุปกรณ์..... 37
3.1.2 สารเคมี..... 37
3.2 แหล่งที่มาของดิน..... 38
3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน..... 38
3.4 การทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักออกจากดินโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์..... 39
3.4.1 การชะล้างโลหะหนักออกจากดินแบบครั้ง..... 39
3.4.1.1 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัด..... 39
3.4.1.2 การหาค่าอัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ..... 40
3.4.2 การชะล้างโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์..... 41
3.5 การสกัดแบบลำดับขั้น..... 42
3.6 การนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่..... 43

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง **89**

ภาคผนวก **92**

ภาคผนวก ก. วิธีการวิเคราะห์ดิน 93

ภาคผนวก ข. วิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)..... 99

ภาคผนวก ค. กราฟมาตรฐานของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด 101

ภาคผนวก ง. คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินทั้ง 4 ชนิด 105

ภาคผนวก จ. ผลการทดลองเมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอในการชะ 110

ภาคผนวก ฉ. ผลการทดลองเมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและ
โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในการชะ 156

ประวัติผู้เขียน **212**

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของสารประกอบไฮดรอกไซด์ทั้งสามชนิดที่ใช้ตกตะกอนโลหะหนัก	32
3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	38
3.2 สัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์	40
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	44
ค.1 ข้อมูลของทองแดง	101
ค.2 ข้อมูลของเหล็ก	102
ค.3 ข้อมูลของแมงกานีส	103
ค.4 ข้อมูลของตะกั่ว	104
ง.1 ค่า CEC ของดินตัวอย่าง	105
ง.2 ปริมาณสารอินทรีย์ของดินตัวอย่าง	105
ง.3 การกระจายตัวของอนุภาคของดินตัวอย่าง	105
ง.4 ปริมาณความชื้นของดินตัวอย่าง	106
ง.5 ค่าพีเอชของดินตัวอย่าง	106
ง.6 ความเป็นกรดของดินตัวอย่าง	107
ง.7 โลหะออกไซด์ของดินตัวอย่าง	107
ง.8 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินอู่รถ (1)	108
ง.9 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินอู่รถ (2)	108
ง.10 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินกองขยะ	108
ง.11 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินที่เก็บของเก่า	109
จ.1 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่ความเข้มข้น เท่ากับ 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 Mของดินอู่รถ (1)	110
จ.2 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่ความเข้มข้น เท่ากับ 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25M ของดินอู่รถ (2)	111
จ.3 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่ความเข้มข้น เท่ากับ 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 M ของดินกองขยะ	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.4 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่ความเข้มข้น เท่ากับ 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 ของดินที่เก็บของเก่า.....	113
จ.5 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอู่รถ (1).....	114
จ.6 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่อัตราส่วน เท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอู่รถ (2).....	115
จ.7 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่อัตราส่วน เท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินกองขยะ.....	116
จ.8 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่อัตราส่วน เท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินที่เก็บของเก่า.....	117
จ.9 ปริมาณทองแดงที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	118
จ.10 ปริมาณเหล็กที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	122
จ.11 ปริมาณแมงกานีสที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	126
จ.12 ปริมาณตะกั่วที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	130
จ.13 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้งในขั้นที่ 1.....	134
จ.14 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้งในขั้นที่ 2.....	136
จ.15 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้งในขั้นที่ 3.....	138
จ.16 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้งในขั้นที่ 4.....	140
จ.17 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้งในขั้นที่ 5.....	142
จ.18 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้งในขั้นที่ 6.....	144
จ.19 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 1.....	146
จ.20 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 2.....	147
จ.21 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 3.....	148
จ.22 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 4.....	149

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.23 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 5.....	150
จ.24 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 6.....	151
จ.25 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ของดินอู่รถ (1).....	152
จ.26 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ของดินอู่รถ (2).....	153
จ.27 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ของดินกองขยะ.....	154
จ.28 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ของดินที่เก็บของเก่า.....	155
ฉ.1 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสมของดินอู่รถ (1).....	156
ฉ.2 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสมของดินอู่รถ (2).....	158
ฉ.3 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสมของดินกองขยะ.....	160
ฉ.4 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสมของดินที่เก็บของเก่า.....	162
ฉ.5 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสม ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอู่รถ (1).....	164
ฉ.6 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสม ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอู่รถ (2).....	165
ฉ.7 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสม ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินกองขยะ.....	166
ฉ.8 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสม ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินที่เก็บของเก่า.....	167
ฉ.9 ปริมาณทองแดงที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	168
ฉ.10 ปริมาณเหล็กที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	172
ฉ.11 ปริมาณแมงกานีสที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	176
ฉ.12 ปริมาณตะกั่วที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	180
ฉ.13 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้งในขั้นที่ 1.....	184
ฉ.14 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้งในขั้นที่ 2.....	186

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ฉ.15 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้งในขั้นที่ 3.....	188
ฉ.16 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้งในขั้นที่ 4.....	190
ฉ.17 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้งในขั้นที่ 5.....	192
ฉ.18 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้งในขั้นที่ 6.....	194
ฉ.19 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 1.....	196
ฉ.20 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 2.....	198
ฉ.21 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 3.....	200
ฉ.22 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 4.....	202
ฉ.23 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 5.....	204
ฉ.24 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 6.....	206
ฉ.11 การนำสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ กลับมาใช้ใหม่ของดินอู่รถ (1)	208
ฉ.12 การนำสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ กลับมาใช้ใหม่ของดินอู่รถ (2).....	209
ฉ.13 การนำสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ กลับมาใช้ใหม่ของดินกองขยะ.....	210
ฉ.14 การนำสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ กลับมาใช้ใหม่ของดินที่เก็บของเก่า.....	211

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของอีดีทีเอ	24
2.2 โครงสร้างของ EDTA (Double zwitterions)	24
2.3 การตกตะกอนของโลหะหนักด้วยไฮดรอกไซด์แสดงในรูปค่าความเข้มข้น	33
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการล้างโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์	41
3.2 ขั้นตอนการสกัดโลหะในรูปต่าง ๆ ออกจากดินแบบเป็นลำดับขั้น	42
4.1 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินตัวอย่างเมื่อแปรผันความเข้มข้นของโซเดียมอีดีทีเอในการชะ	47
4.2 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินตัวอย่างเมื่อแปรผันอัตราส่วนระหว่างดินกับสารละลาย	50
4.3 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินอู่รถ (1)	51
4.4 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินอู่รถ (2)	53
4.5 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินกองขยะ	54
4.6 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินที่เก็บของเก่า	55
4.7 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินตัวอย่างที่อัตราส่วนต่างๆ	57
4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงในดินตัวอย่าง	59
4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กในดินตัวอย่าง	60
4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดแมงกานีสในดินตัวอย่าง	62
4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในดินตัวอย่าง	63
4.12 สัดส่วนทองแดงในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน	65
4.13 สัดส่วนเหล็กในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน	66
4.14 สัดส่วนแมงกานีสในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน	67
4.15 สัดส่วนตะกั่วในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน	68
4.16 สัดส่วนทองแดงในดินตัวอย่างก่อนลงคอลัมน์และหลังลงคอลัมน์	69
4.17 สัดส่วนเหล็กในดินตัวอย่างก่อนลงคอลัมน์และหลังลงคอลัมน์	70
4.18 สัดส่วนแมงกานีสในดินตัวอย่างก่อนลงคอลัมน์และหลังลงคอลัมน์	71
4.19 สัดส่วนตะกั่วในดินตัวอย่างก่อนลงคอลัมน์และหลังลงคอลัมน์	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 สัดส่วนทองแดงในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน	73
4.21 สัดส่วนเหล็กในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน	74
4.22 สัดส่วนแมงกานีสในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน	75
4.23 สัดส่วนตะกั่วในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน	76
4.24 สัดส่วนทองแดงในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะแบบคอลัมน์	77
4.25 สัดส่วนเหล็กในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะแบบคอลัมน์	78
4.26 สัดส่วนแมงกานีสในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะแบบคอลัมน์	79
4.27 สัดส่วนตะกั่วในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะแบบคอลัมน์	80
4.28 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่	82
4.29 การนำสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ กลับมาใช้ใหม่	83
ก.1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสดิน	96
ค.1 กราฟมาตรฐานของโลหะทองแดง	101
ค.2 กราฟมาตรฐานของโลหะเหล็ก	102
ค.3 กราฟมาตรฐานของโลหะแมงกานีส	103
ค.4 กราฟมาตรฐานของโลหะตะกั่ว	104

คำย่อและสัญลักษณ์

AAS	เครื่องอะตอมมิกแอบซอปชั่นโฟรโตมิเตอร์
CEC	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
cm	เซนติเมตร
DI	น้ำปราศจากไอออน
g	กรัม
h	ชั่วโมง
K	ค่าคงที่ความเสถียร
kg	กิโลกรัม
M	โมลาร์
meq	มิลลิสมมูล
min	นาที
mg	มิลลิกรัม
ml	มิลลิลิตร
Na_2EDTA	โซเดียมอีดีทีเอ
$Na_2S_2O_5$	โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์
OM	สารอินทรีย์
pH	ระดับความเป็นกรดด่าง
rpm	รอบต่อนาที
v/v	ปริมาตรต่อปริมาตร
w/v	น้ำหนักต่อปริมาตร
^{o}C	องศาเซลเซียส
^{o}F	องศาฟาเรนไฮต์
%	เปอร์เซ็นต์

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติขั้นมูลฐานที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง เพราะดินเป็นที่ผลิตอาหาร เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรค ตลอดจนเป็นที่พักผ่อน ที่อยู่อาศัยและกักเก็บน้ำสำหรับให้มนุษย์ได้ใช้อย่างสะดวกสบาย และเป็นที่ทราบกันดีว่าการเกิดดินหนาเพียงครึ่งนิ้วต้องใช้เวลานับร้อยปีหรือมากกว่า แต่การทำลายดินนั้นสามารถทำลายได้ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งการทำลายดินนั้นเกิดจากการใช้ที่ดินอย่างไม่ถูกต้อง หรือใช้ที่ดินเกินความสามารถของดินนั้น หรือดินนั้นได้รับการจัดการที่ไม่ถูกต้อง นอกจากทำให้เจ้าของที่ดินได้รับผลตอบแทนน้อยกว่าที่ควรจะได้แล้ว คุณภาพของดินก็จะลดลงและยังก่อผลกระทบกระเทือนต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพของสาธารณชน และความมั่นคงของเศรษฐกิจของเจ้าของที่ดินหรือผู้ที่อาศัยอยู่บนแผ่นดินนั้นอีกด้วย จากรายงานของ National Priority List (NPL) พบว่ามีสารที่ปนเปื้อนในดินหลายชนิด ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ สารอินทรีย์ที่ชอบและไม่ชอบน้ำ โลหะหนักและสารกัมมันตรังสี โดยสารปนเปื้อนที่พบมากที่สุด คือ โลหะหนัก ซึ่งดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักมีมากกว่า 36 ล้านลูกบาศก์เมตร (Abumizer and Smith, 1999) และหากไม่มีวิธีการกำจัดกากของเสียที่ถูกต้องก่อนนำไปฝังไว้ใต้ดิน อาจก่อให้เกิดภาวะมลพิษต่อดินและสิ่งมีชีวิตในดินนั้น ซึ่งเป็นเหตุให้การใช้ประโยชน์จากที่ดินนั้นถูกจำกัดลง ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาเพื่อหาวิธีที่ถูกต้องในการจัดการดิน ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) การเผาไหม้ (Incineration) การระเหย (Volatilization) การคายซับโดยใช้ความร้อน (Thermal desorption) และการใช้วิธีทางชีวภาพ (Biological techniques) (Noyes, 1991) แต่วิธีดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายที่สูง จึงได้มีการศึกษาวิธีที่ง่ายและมีค่าใช้จ่ายไม่มาก ซึ่งการล้างดินด้วยสารละลายเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกเลือกมาใช้ในการจัดการ โดยสารละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) สารคีเลตติ้ง (Chelating agent) รวมทั้งสารละลายกรดหรือด่าง (Acid and/or alkaline solution) ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักของสารลดแรงตึงผิวไม่ดีนัก สารคีเลตติ้งมีประสิทธิภาพดีแต่ราคาแพง ส่วนสารละลายกรดหรือด่างเมื่อดินผ่านการชะล้างแล้วจะทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไป และยังไปเพิ่มการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในดินอีกด้วย ซึ่งก็ต้องเพิ่มการบำบัดขึ้นอีกทำให้ต้นทุนสูงมากขึ้น ในปัจจุบันได้มีการนำเอาสารรีดิวซิง (Reducing agent) มาใช้ เนื่องจากเป็นสารที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ และมีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับสารคีเลตติ้ง สารรีดิวซิงที่นิยมใช้ คือ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) ในงานวิจัยนี้ได้นำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมอีดีทีเอ มาใช้ใน

การชะล้างโลหะหนักออกจากดิน โดยศึกษาความเข้มข้นและอัตราส่วนระหว่างปริมาตรสารละลายกับน้ำหนักดินที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังศึกษาถึงการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่โดยใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมี และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารละลายหลังจากนำกลับมาล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักอีก โดยนำกลับมาล้างดินใหม่เป็นจำนวน 7 ครั้ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินตัวอย่าง

1.2.2 ชะล้างโลหะหนักออกจากดินแบบครั้งและแบบคอลัมน์

1.2.3 ศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักที่อยู่ในรูปต่าง ๆ ในดินทั้งก่อนล้างและหลังล้าง

1.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการล้างโลหะหนักออกจากดินของสารละลายที่นำกลับมาใช้ใหม่

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักที่เก็บจาก 1. ตำบลลำนารายณ์ จ.ลพบุรี 2. ตำบลชัยบาดาล จ.ลพบุรี 3. ตำบลท่าหลวง จ.ลพบุรี 4. เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยจะวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความหนาแน่นรวม พื้นที่ผิว ความชื้น ปริมาณอลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีส ปริมาณอินทรีย์สาร ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของอนุภาค และความเข้มข้นของโลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn) และตะกั่ว (Pb)

1.3.2 ทดสอบการชะล้างโลหะหนักออกจากดินแบบครั้งโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โดยหาความเข้มข้นและอัตราส่วนระหว่างสารละลายกับดินที่เหมาะสม และนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พร้อมทั้งหาเปอร์เซ็นต์โลหะหนักที่ถูกกำจัด (% removal)

1.3.3 ทดสอบการชะล้างโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์โดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

1.3.4 สกัดดินตัวอย่างจาก 4 แห่ง ทั้งก่อนชะและหลังชะด้วยสารละลายที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักที่สูงสุดที่ได้จากการทดลอง ด้วยวิธีการการสกัดแบบลำดับขั้น

1.3.5 นำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่ใช้แล้วมาทำการชะล้างโลหะหนักออก โดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) นำสารละลายที่ตกตะกอนโลหะหนักออกแล้วมาล้างดินที่ปนเปื้อนจนมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินที่อยู่รอบๆ บริเวณโรงงานอุตสาหกรรมและบริเวณกองขยะที่มีการปนเปื้อน

1.4.2 เป็นแนวทางในการนำสารละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้อีกครั้ง เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการชะล้างดินที่มีการปนเปื้อน

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 มลพิษของดิน (Soil pollution) (สรสิทธิ์, 2535)

2.1.1 นิยามและความหมาย

มลพิษของดิน (Soil pollution) หมายถึง สภาพความปนเปื้อนของเนื้อดินด้วยสารมลพิษ (Pollutants) มากเกินขีดจำกัดจนเกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ จากคำนิยามจะเห็นได้ว่า ดินเสียนั้นจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีสารมลพิษในดิน และเมื่ออัตราการเพิ่มสารมลพิษลงไปในดินมากกว่าการสลายตัวของสารมลพิษนั้น จนเกิดการสะสมสารมลพิษมากขึ้นถึงขั้นเป็นอันตรายต่อสภาวะแวดล้อม

ดินเสียสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) ดินเสียโดยกำเนิด เช่น ดินเค็ม ดินเปรี้ยว เป็นต้น และ 2) ดินเสียโดยการกระทำของมนุษย์ เช่น ดินเสียโดยการปนเปื้อนจากอินทรียสาร อนินทรียสาร ยากำจัดศัตรูพืช ธาตุพิษ และธาตุโลหะหนัก เป็นต้น

2.1.2 แหล่งที่มาและการสะสม

แหล่งของสารมลพิษสู่ดินมีได้หลายแหล่ง คือ จากสารเคมีในการเกษตร โรงถลุงแร่ การเผาไหม้น้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนการใช้ที่ดินเป็นที่ฉมวัสดุเหลือใช้ แหล่งปนเปื้อนเหล่านี้ทำให้เกิดการสะสมธาตุพิษต่าง ๆ ได้ในดิน แหล่งที่มาของสารปนเปื้อนที่สำคัญและมองเห็นได้ชัด นอกจากโรงถลุงแร่แล้วก็ยังมาจากโรงงานอุตสาหกรรม ของเหลือใช้จากโรงงาน และไอเสียจากรถยนต์ ธาตุพิษเหล่านี้เมื่อตกลงสู่ดินจะเกิดการสะสมในดินเป็นจำนวนมาก

2.2 ธาตุพิษในดิน (นัทชธีร์ญา, 2545)

ธาตุพิษ (Toxic elements) โดยทั่วไปหมายถึง ธาตุโลหะหนักหรือธาตุโลหะอื่น ซึ่งเป็นสารมลพิษที่สำคัญในดิน ธาตุพิษเหล่านี้จะเป็นสารมลพิษได้เนื่องจากมีการนำมาใช้ประโยชน์ในรูปสารประกอบและเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ แล้วมีการปนเปื้อนสู่สภาพแวดล้อม

ธาตุโลหะที่ปนเปื้อนในดินอาจอยู่ในรูปต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ละลายในสารละลายดิน
2. ถูกดูดซับในตำแหน่งผิวของอนุภาคคอลลอยด์ดิน
3. ตกตะกอนหรือตกตะกอนร่วมกับสารอื่น
4. ถูกตรึงและจับกับสารแขวนลอยอื่นหรือแร่ในดิน
5. เปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์โดยกระบวนการทางชีวภาพ

สามารถแบ่งธาตุออกได้ตามลักษณะสภาวะมลพิษเป็น 2 พวก คือ

1. สารมลพิษที่เป็นปัญหาระยะยาว ได้แก่ สารมลพิษที่คงอยู่ในดินได้นานและพืชที่สามารถทนต่อสารมลพิษได้ในปริมาณที่จำกัด สารมลพิษเหล่านี้ ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว และปรอท แม้ธาตุเหล่านี้จะอยู่ในดินมาก แต่พืชก็ไม่สามารถใช้และเก็บสะสมได้มาก ดังนั้น ในปีแรก ๆ ที่ดินได้รับสารมลพิษเหล่านี้อาจมองเห็นปัญหาได้ไม่ชัดเจน เพราะธาตุเหล่านี้แพร่กระจายสู่ห่วงโซ่อาหารได้ในปริมาณที่น้อย
2. สารมลพิษที่เกิดปัญหาในระยะสั้น ได้แก่ สารมลพิษที่ละลายน้ำได้ง่าย พืชสามารถดูดซับได้ทันทีและในปริมาณมาก จึงเกิดปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว สารมลพิษเหล่านี้ ได้แก่ โบรอน แคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี

ซึ่งการถูกดูดซับของธาตุโลหะหนักในดินเกิดขึ้นโดยการดึงดูดทางไฟฟ้าต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น พันธะไอออน-ไอออน (Ion-ion bonding) การดึงดูดแวนเดอร์วาล (Van der waals attration) พันธะไฮโดรเจน (H-bonding) พันธะโคออร์ดิเนต (Coordinate bonding) เช่น การแลกเปลี่ยนลิแกนด์ (Ligand exchange) หรือพันธะทางเคมีอื่น ๆ และธาตุแต่ละชนิดอาจถูกดูดซับได้ด้วยกระบวนการที่แตกต่างกัน

2.3 คุณลักษณะของดิน

2.3.1 ความเป็นกรดของดิน (Soil acidity)

2.3.1.1 แหล่งที่มาของความเป็นกรดในดิน (Sources of soil acidity)

ความเป็นกรดของดินเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ หรือมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง ความเป็นกรดของดินจะมากหรือน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับธรรมชาติและปัจจัยเหล่านั้น แต่แหล่งที่มาของความเป็นกรดในดิน ได้แก่ อินทรียวัตถุหรือฮิวมัสคอลลอยด์ของสารอนินทรีย์ และเกลือบางชนิดที่ละลายน้ำได้

2.3.1.1.1 อินทรียวัตถุหรือฮิวมัส (Organic matter or humus)

สารอินทรีย์ที่เป็นเศษเหลือของพืชและสัตว์เมื่อสลายตัวด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้เกิดสารอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ ทั้งที่มีโครงสร้างอย่างง่าย ๆ และสลับซับซ้อน ซึ่งมีกลุ่มที่ว่องไวทางเคมี อันประกอบด้วยกรดอินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะสารฮิวมัส ซึ่งประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ที่สามารถปล่อยไฮโดรเจนออกมาได้ และฮิวมัสสามารถทำปฏิกิริยากับอะลูมินัมและเหล็กกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนและทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนอิออนได้

นอกจากนี้ เมื่ออินทรียวัตถุสลายตัวและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในดินมีการหายใจ จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้กรดคาร์บอนิก ซึ่งต่อมาจะแตกตัวเป็นไอออน ปล่อย H^+ ออกมา รวมทั้งกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ได้จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุก็จะเพิ่มความเป็นกรดในดินมากขึ้น

2.3.1.1.2 คอลลอยด์พวกสารอนินทรีย์ (Inorganic colliods)

การเกิดกรดในดินเนื่องจากคอลลอยด์พวกสารอนินทรีย์เป็นผลที่ได้โดยทางอ้อม การแตกหักของขอบหรือเหลี่ยมมุมของผลึกแร่ดินเหนียวพวกเคโอลิไนต์ ทำให้ส่วนที่เป็น –Al-OH แตกตัวเป็น H^+ ตลอดจนสารคอลลอยด์ของเหล็กและอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งสารพวกอัล-โลเฟน สามารถทำให้ดินเกิดเป็นกรดได้ทั้งสิ้น

ในสภาพแวดล้อมของดินที่เป็นกรด อะลูมินัมไฮดรอกไซด์ ซึ่งถูกดูดซับอยู่ตามผิวของแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 อยู่ก่อนแล้วจะถูกไล่ที่ออกมา และอยู่ในรูปของ Al^{3+} หรืออะลูมินัมไฮดรอกซี่ไอออนรูปต่าง ๆ คือที่ระดับ pH ต่ำกว่า 5 อะลูมินัมจะถูกดูดซับอยู่ในรูปของ $Al(H_2O)_6^{3+}$ ซึ่งเรียกว่า Hexahydrated Al^{3+} และอะลูมินัมที่ถูกดูดซับไว้บนผิวของแร่ดินเหนียวนี้จะอยู่ในสภาพสมดุลกับ Al^{3+} ในสารละลาย และอลูมินัม Al^{3+} นี้เองจะเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ทำให้เกิดความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ดังสมการ 2.1-2.3

Micelle $Al \rightleftharpoons Al^{3+}$ (2.1)

$Al^{3+} + H_2O \rightleftharpoons Al(OH)^{2+} + H^+$ (2.2)

$Al(OH)^{2+} + H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_3 + H^+$ (2.3)

2.3.1.1.3 เกลือที่ละลายน้ำได้ (Soluble salts)

เกลือที่ละลายน้ำได้และก่อให้เกิดกรดขึ้นในดิน ส่วนใหญ่ได้จากปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดิน โดยสารประกอบที่เป็นปุ๋ยทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วเกิดกรดที่สามารถแตกตัวให้ H^+ ได้ดังนี้

ก. การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียม หรือรูปยูเรีย จะก่อให้เกิดความเป็นกรดได้ ดังสมการ 2.4-2.6

$(NH_4)_2SO_4 + 2H_2O \rightleftharpoons 2NH_4OH + H_2SO_4$ (2.4)

$NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$ (2.5)

$H_2SO_4 \rightleftharpoons 2H^+ + SO_4^{2-}$ (2.6)

ข. การใส่ปุ๋ยฟอสเฟต การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่อยู่ในรูปโมโนแคลเซียมฟอสเฟตนั้น ทำให้เกิดกรดในดินอย่างรุนแรงได้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง (สมการ 2.7)

$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O \rightleftharpoons CaHPO_4 + H_3PO_4 + H_2O$ (2.7)

กรดออร์โธฟอสฟอริกที่เกิดขึ้นนี้ จะกระจายออกไปจากจุดที่ใส่ลงไปในดิน และอาจทำให้บริเวณนั้นมี pH ต่ำลงถึงค่า 1.5 ได้ สำหรับค่า pH ต่ำระดับนี้ กรดออร์โธฟอสฟอริกสามารถทำปฏิกิริยากับเหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีส กลายเป็นเกลือฟอสเฟตที่ตกตะกอนลงไปในบริเวณที่เป็นกรดนั้น

2.3.1.2 การวัดพีเอชของดิน (Measurement of soil pH)

การวัด pH ของดินโดยทั่วไปมีวิธีที่ใช้กันอยู่ 2 วิธี คือ

2.3.1.2.1 การใช้วิธีเทียบสี (Colorimetric technique)

วิธีใช้หลักการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสีต่าง ๆ ตาม pH ของสารละลายดิน ตามปกติใช้สารที่เรียกว่า pH Indicator หยดใส่ลงไปในดินแล้วทำให้เกิดสีและนำมาเปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐาน ลักษณะสีของ Indicator เป็นแบบ Acid-base indicator ซึ่งเป็นสมบัติของกรดหรือด่างอย่างอ่อน เมื่ออยู่ในรูปที่แตกตัว หรือรูปที่ไม่แตกตัวจะให้สีแตกต่างกัน ดังสมการที่ 2.8

$$\underset{\text{(Acid color)}}{HI} \rightleftharpoons \underset{\text{(Alkaline color)}}{H^+ + I^-} \qquad (2.8)$$

2.3.1.2.2 การวัดโดยใช้เครื่องไฟฟ้า (Electrometric technique) หรือ เครื่องวัด pH

ถือว่าเป็นมาตรฐานยอมรับกันโดยทั่วไป เครื่องวัด pH ประกอบด้วยแท่งแก้ว Electrode โดยมีแผ่นแก้วบาง ๆ บรรจุสารละลายของ HCl และ KCl กับแท่ง Electrode ของ AgCl หรือ $Hg\text{-}Hg_2Cl_2$ อยู่ด้านใน และแท่ง Electrode เหล่านี้พ่วงต่อกับตัวเครื่องวัด pH แผ่นแก้วบาง ๆ จะสัมผัสกับสารละลายดินภายนอกที่มีไฮโดรเจนอิออน โดยไม่ทราบความเข้มข้น และสัมผัสกับสารละลาย HCl–KCl ที่ทราบความเข้มข้นอยู่ภายใน เมื่อแผ่นแก้วบาง ๆ อันมีสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ และมีความว่องไวต่อ H^+ ได้ถูกจุ่มลงไปให้สัมผัสกับสารละลายภายนอก ก็จะเกิดศักย์ไฟฟ้าผ่านแผ่นแก้วบาง ๆ และตรวจจับได้โดยแท่ง Electrode AgCl หรือ Hg_2Cl_2 ซึ่งอยู่ภายใน การวัด pH โดยใช้แท่งแก้ว Electrode นี้ ต้องอาศัยหลักการไหลของอิเล็กตรอนผ่านเส้นทางที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ดังนั้นการครบวงจรได้ต้องอาศัย Reference electrode อยู่ภายนอกอีกอันหนึ่ง ตามปกติใช้ Calomel electrode จุ่มลงในสารละลายภายนอกที่ไม่ทราบความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน แล้วต่อเข้าเครื่องเช่นเดียวกัน

2.3.2 ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity หรือ CEC) (คุสิต, 2535)

ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินหรือของคอลลอยด์นั้น หมายถึง ปริมาณ Cation ทั้งหมดที่ดินหรือคอลลอยด์นั้นสามารถจะดูดยึดไว้ได้ การที่จะรู้ได้ว่าคอลลอยด์หรือดินมี CEC เท่าใดนั้นจะต้องทำการวิเคราะห์ทางเคมี โดยการไล่ที่ Cation เดิมที่ดูดซับอยู่ที่ผิวของ Clay ด้วย NH_4^+ แล้วให้ Cation ดังกล่าวเข้าไปแทนที่จนหมด จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณ Adsorbed NH_4^+ นั้นว่ามีอยู่เท่าใด โดยการบอกเป็นจำนวน Milliequivalents ต่อ clay 100 g ดังนั้นค่าของ CEC ของ clay หรือดินจึงบอกกันเป็นค่าของ meq/100 g ของดินหรือ clay นั้น ๆ

ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของ Soil colloid ที่ต่างชนิดกัน จะแตกต่างกันเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น Humus, Montmorillonite, Hydrous mica และ Hydrous oxide ของเหล็กและอะลูมินัม ดังนั้น ดินที่มีฮิวมัสมากหรือพวกมีพวก Montmorillonite เป็นองค์ประกอบอยู่มากก็จะทำให้ CEC ของดินนั้นสูงขึ้นกว่าดินชนิดอื่นซึ่งมีปริมาณ Clay ทั้งหมดเท่ากัน ดังนั้น อาจจะกล่าวได้ว่า CEC ของดินจะมากหรือน้อยและจะแตกต่างไปจาก CEC ของดินอื่น ๆ นั้นเนื่องมาจาก

1) ชนิดของคอลลอยด์ในดิน ชนิดของคอลลอยด์ที่มีอยู่ในดินมีบทบาทที่สำคัญมากต่อปริมาณของ CEC ของดิน เนื่องจากคอลลอยด์ของดินแต่ละชนิดจะมีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกแตกต่างกันออกไป

2) ประเภทของเนื้อดิน เนื้อดินชนิดต่าง ๆ มีอิทธิพลในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินที่มีเปอร์เซ็นต์ของดินเหนียวสูง ย่อมจะมี CEC สูงกว่าดินที่มีดินเหนียวอยู่น้อยกว่า เนื้อดินเป็นปัจจัยที่สามารถนำมาพิจารณาปริมาณ CEC อย่างคร่าว ๆ ได้

3) ปริมาณของอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณของอินทรียวัตถุในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกฮิวมัสมีอิทธิพลที่สำคัญต่อปริมาณ CEC ของดิน ทั้งนี้เนื่องจากฮิวมัสมีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่สูงดังได้กล่าวมาแล้ว

ความสำคัญ ความจุการแลกเปลี่ยนไอออนบวกมีความสำคัญอย่างมากในการควบคุมคุณสมบัติต่าง ๆ ทั้งกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพของดิน ความสำคัญของ CEC สรุปได้ดังนี้คือ

ก. ความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินที่มี CEC สูงมักจะเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง ทั้งนี้เนื่องจากดินนั้นมีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกต่าง ๆ ที่เป็นอาหารพืชไว้ได้มาก พืชสามารถที่จะดึงไอออนบวกต่าง ๆ เหล่านี้ได้โดยตรงจากพื้นผิวของคอลลอยด์ และนอกจากนั้นธาตุอาหารพืชต่าง ๆ ไม่สูญหายไปจากดินได้ง่าย เพราะว่ามีอำนาจในการดูดยึดธาตุอาหารเหล่านี้ไว้

ข. มีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ความร่วนซุย ความเหนียว การฟุ้งกระจาย และการเกาะกลุ่มของดิน ดินที่มีไอออนบวกที่มีวาเลนซี่เดี่ยวโดยเฉพาะ Na^+ มีผลทำให้ดินอยู่ในลักษณะที่ฟุ้งกระจายซึ่งอนุภาคดินเกาะกลุ่มกันเป็นเม็ดดินซึ่งมีผลให้ดินนั้นร่วนซุยไม่แน่นทึบ และ

มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศที่ดี ตามทฤษฎีของประจุสองชั้น (Ionic double layer) คือผลของคอลลอยด์มีประจุลบอยู่ ดังนั้น จึงมีอำนาจในการดูดดึงประจุบวกหรือผลักดันประจุลบที่อยู่ใกล้ๆ ได้ ประจุบวกที่ดูดซับอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ทำให้เกิดสภาพประจุสองชั้น ชั้นในจะเป็นประจุลบซึ่งเป็นของคอลลอยด์ ส่วนชั้นนอกจะเป็นประจุบวกของพวกไอออนบวก ระยะทางระหว่างประจุบวกที่อยู่รอบนอกกับประจุลบที่อยู่ชั้นในก็จะมาก แต่ถ้าไอออนบวกที่ดูดซับที่ผิวคอลลอยด์มีขนาดที่มีน้ำหุ้มอยู่บ้างก็จะทำให้ประจุสองชั้นของคอลลอยด์บางอนุภาคของคอลลอยด์จึงมีโอกาสได้มาอยู่ใกล้ชิดกัน

ค. สมบัติทางเคมีของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเป็นกรดของดินเนื่องจากมี H^+ ดูดซับที่ผิวคอลลอยด์มากกว่าไอออนบวกที่เป็นด่างเช่น Ca^{2+} และ K^+ ซึ่งดินที่เป็นกรดมาก ๆ มีผลต่อความเป็นประโยชน์ได้ของธาตุอาหารพืชบางชนิด ดังนั้น การแก้ไขหรือปรับปรุงดินที่เป็นกรดมากให้เป็นกรดน้อยลงสามารถกระทำได้โดย การไล่ที่ H^+ ด้วยการใส่ปูนลงไปในดิน Ca^{2+} ที่อยู่ในปูนก็จะไปแทนที่ H^+ ที่ดูดซับที่ผิวของคอลลอยด์ออกมาก็จะทำให้ความเป็นกรดของดินลดน้อยลง

2.3.3 อินทรียวัตถุในดิน (Soil organic matter)

อินทรียวัตถุในดิน เป็นวัตถุที่สลับซับซ้อนมาก กล่าวคือ นอกจากจะประกอบด้วยสารประกอบ ที่มักปรากฏในพืชและสัตว์แล้ว ยังประกอบด้วยจุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตและตายแล้ว ตลอดจนสารประกอบที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นและสารประกอบที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากกิจกรรมการสลายตัวของจุลินทรีย์ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าอินทรียวัตถุในดินประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์แทบทุกชนิดที่สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติตลอดจนสารประกอบจำพวกกรดอินทรีย์ (Organic acids) และพวก Wax สารประกอบต่าง ๆ เหล่านี้อาจปรากฏอยู่ในสภาพโดดเดี่ยวหรือรวมตัวกันเป็นสารที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อนก็ได้

ความสำคัญของอินทรียวัตถุในดิน อินทรียวัตถุในดินมีความสำคัญอย่างยิ่งในแง่ของการควบคุมอิทธิพลต่อสมบัติของดิน สมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี และทางชีววิทยาของดิน อิทธิพลของอินทรียวัตถุในดินที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้พอจะกล่าวสรุปเป็นข้อ ๆ ดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลต่อสีของดิน อินทรียวัตถุในดินทำให้สีของดินเป็นสีน้ำตาลจนถึงสีดำ ฉะนั้นโดยทั่วไปแล้วดินที่มีสีน้ำตาลหรือดำจึงถือเป็นดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง

2. อิทธิพลต่อสมบัติทางฟิสิกส์อื่น ๆ อินทรียวัตถุช่วยส่งเสริมให้อนุภาคของดินจับตัวกันเป็นก้อน ช่วยลดความหนืดและ Cohesion ของดิน ตลอดจนเป็นตัวช่วยให้ดินมีความจุในการอุ้มน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี

3. อิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับไอออนบวก (Influence on cation adsorption capacity) อินทรียวัตถุในดินเป็นสารที่มีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกได้สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการดูดซับไอออนบวกโดยคอลลอยด์อื่น ๆ โดยทั่วไป การดูดซับโดยอินทรียวัตถุจะสูงกว่าตั้งแต่ 2 ถึง 30 เท่า ในดินโดยทั่วไปปริมาณของไอออนบวกที่ถูกดูดซับอยู่

ตั้งแต่ 30 -90% เป็นพวกที่ถูกดูดซับโดยอินทรียวัตถุในดิน สาเหตุที่อินทรียวัตถุมีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกก็เนื่องมาจากประจุลบซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการแตกตัวของสารประกอบบางกลุ่มในอินทรียวัตถุ

4. อิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน ดังกล่าวในข้อ 3 แล้วว่าอินทรียวัตถุในดินมีประจุลบเป็นจำนวนมากและมีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกสูง จึงมีผลทำให้ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ได้ดี

5. อิทธิพลต่อปริมาณและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช อินทรียวัตถุในดินมีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบหรือผสมอยู่ ธาตุอาหารเหล่านี้ถูกปลดปล่อยออกมาสะสมอยู่ในดินหลังจากอินทรียวัตถุสลายตัวโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ ธาตุอาหารพืชที่เป็นประจุบวกซึ่งถูกดูดซับอยู่โดยอินทรียวัตถุ ยังเป็นประโยชน์ต่อพืชได้เช่นเดียวกัน โดยประจุบวกที่ถูกดูดซับอยู่ถูกแลกเปลี่ยนหรือแทนที่โดยประจุบวกได้ด้วยกันเอง และอีกประการหนึ่งอินทรียวัตถุที่มีสมบัติเป็นกรด หรือกรดที่เกิดขึ้นจากคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาเมื่ออินทรียวัตถุสลายตัวยังช่วยละลายธาตุอาหารบางชนิดให้เป็นประโยชน์ต่อพืชอีกด้วย

6. อิทธิพลต่อจุลินทรีย์ดิน อินทรียวัตถุในดินเป็นอาหารของจุลินทรีย์ดินโดยเฉพาะจุลินทรีย์พวก Heterotrophs ดินที่มีอินทรียวัตถุในปริมาณที่สูง จะทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ในดินนั้นสูงด้วย ซึ่งส่งผลให้กิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ เช่น การแปรสภาพของธาตุอาหารพืช การตรึงไนโตรเจน ฯลฯ เกิดขึ้นได้ในดินเป็นอย่างดี

แหล่งที่มาของอินทรียวัตถุในดิน อินทรียวัตถุในดินมีแหล่งกำเนิดมาได้หลายทางด้วยกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. จากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์
2. การสลายตัวของชิ้นส่วนของพืชที่ไถกลบลงไปในดินหรือซังของพืชที่เหลือหลังจากเก็บเกี่ยวผลิตผลแล้วหรืออาจเป็นพืชที่ปลูกขึ้นเพื่อการไถกลบโดยเฉพาะ
3. การสลายตัวของ Stable manure ซึ่งประกอบด้วยสิ่งขับถ่ายของสัตว์
4. จากการสลายตัวของปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่ใส่ลงไปในดินเพื่อจุดประสงค์ในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน
5. จากการสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์ เช่น Bone metal, Dried blood, Tankagcottonseed meal, Linseed meal, Peat
6. จากเซลล์ของจุลินทรีย์ดิน ซึ่งอาจเป็นจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่หรือที่ตายแล้วรวมทั้งสารประกอบอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้น

2.4 การใช้ผลวิเคราะห์ ดินทางกายภาพ (เอิบ, 2542)

2.4.1 เนื้อดิน การวิเคราะห์เนื้อดิน จะได้ค่าร้อยละขององค์ประกอบของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ของดิน ซึ่งผลที่ได้สามารถใช้ลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.1 ใช้ในทางวิศวกรรม และการพิจารณาวัสดุก่อสร้าง

1.2 ทำให้ทราบถึงการเคลื่อนย้ายของดินเหนียว ทำให้ทราบว่า ในดินนั้นมีชั้นดินล่างหรือไม่

1.3 ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของพันธุ์พืช ต่อการเคลื่อนย้ายของอนุภาคดินเหนียว เช่น พวกดินป่า จะมีการเคลื่อนย้ายของดินเหนียวมากกว่าในทุ่งหญ้า

1.4 ทำให้เข้าใจถึงกระบวนการในการพัฒนาดินดีขึ้น

1.5 ทำให้สามารถวินิจฉัยชั้นดินที่วัสดุแตกต่างกันหรือไม่มีความต่อเนื่องทางธรณีได้

2.4.2 ความหนาแน่นรวมของดิน สามารถนำมาใช้ได้หลายอย่างด้วยกันเช่น

1.1 ใช้เปรียบเทียบความพรุนรวม และหาค่าร้อยละของปริมาตรความชื้นที่เป็นประโยชน์

1.2 ใช้พิจารณาว่ามีชั้นดาน (Pan) เกิดขึ้นหรือไม่ เพื่อศึกษาวิวัฒนาการของชั้นดาน

1.3 ช่วยในการศึกษาของปริมาณเถ้าภูเขาไฟ (Volcanic ash) เพราะโดยปกติวัสดุเหล่านี้จะมีความหนาแน่นรวมต่ำ

1.4 ใช้ในการศึกษาการผุพังอยู่กับที่ และการเปลี่ยนแปลงของชั้น C ซึ่งเป็นชั้นหินผุ ของหินอัคนีและหินแปร

1.5 ความหนาแน่นรวมจะแปรผกผันกับรากพืช คือถ้าหากว่าดินมีความหนาแน่นรวมสูง จะมีรากพืชที่ชอนไชเข้าไปได้น้อย

2.4.3 ความชื้นดิน ค่าความชื้นของดิน สามารถนำมาใช้ได้ในทางกำเนิดดิน และการแจกแจงลักษณะของดิน ปริมาณของแรงน้ำที่ยึด 15 บาร์ หรือ 1,500 กิโลพาสคัล เป็นจุดแบ่งลักษณะของสภาพความชื้นดิน ดินที่จัดว่าเป็นดินแห้งในกลุ่มของแอริดิซอลส์ จะมีความชื้นต่ำกว่าจุดนี้มากกว่าครึ่งหนึ่งของเวลาและไม่อยู่ในลักษณะแช่แข็ง เป็นต้น

2.5 การใช้ผลวิเคราะห์ดินทางเคมี

2.5.1 ความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity, CEC) เนื่องจากค่าวิเคราะห์นี้จะแสดงให้เห็นความสามารถที่ดินจะดูดซับ หรือยึดไอออนบวก และแลกเปลี่ยนไอออนเหล่านี้ได้ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบทดลอง และมีการวิเคราะห์หลายแบบ ซึ่งค่าที่ได้จะมีปัจจัยควบคุมในการวิเคราะห์ทางด้านต่าง ๆ อยู่มาก เช่น

ก. ค่า pH ในขณะที่มีการวิเคราะห์ ซึ่ง pH นี้ จะเกี่ยวกับกิจกรรมของตัวแลกเปลี่ยนต่าง ๆ ในระบบ รวมถึงวัสดุอินทรีย์ต่าง ๆ

ข. ค่าที่ได้อาจจะแตกต่างกัน เนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีของสารละลายที่มีการแลกเปลี่ยนที่ใช้ในการวิเคราะห์ไอออนบางชนิดจะถูกแทนที่หรือแลกเปลี่ยนได้ง่ายกว่าชนิดอื่น

ถึงแม้ว่า ค่านี้จะมีข้อจำกัดติดมาด้วยมากมายก็ตาม ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก จะมีคุณค่าในการประเมินความสามารถของดินที่จะเก็บกักไอออนบวก หรืออัตราความรุนแรงของการผุพังอยู่กับที่ และกิจกรรมทางเคมีเป็นส่วนรวม เช่น

1.1 ใช้เป็นเครื่องวินิจฉัยชนิดของแร่ดินเหนียวในดิน

1.2 ใช้วินิจฉัยความรุนแรงสัมพัทธ์ของการผุพังอยู่กับที่ คือถ้าค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกต่ำ มักจะมีการผุพังอยู่กับที่รุนแรง

1.3 ใช้วินิจฉัยความสำคัญทางธาตุอาหารพืช ถ้าหากดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง แสดงว่ามีความจุในการที่จะเก็บธาตุอาหารสูง

1.4 ใช้วินิจฉัยเกี่ยวกับความสามารถในทางวิศวกรรมของดิน คือถ้ามีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงมาก (มากกว่า 20-25 โมล /กรัม) จะมีการยืดและหดตัวสูง

1.5 ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาความอิ่มตัวเบส ซึ่งใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

2.5.2 ไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้และความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable cations and exchangeable acidity)

ข้อมูลของไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ สามารถใช้วินิจฉัยดินในลักษณะต่อไปนี้ คือ

1) ถ้าหากว่าอัตราส่วนของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่อเบสชนิดอื่น ๆ และความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้น สมบัติทางเคมีจะไม่ดีเท่าที่ควร
2) อัตราส่วนของแคลเซียมต่อแมกนีเซียม เป็นเครื่องวินิจฉัยอัตราการผุพังอยู่กับที่สัมพัทธ์ และอัตราพัฒนาการของดินในเขตชื้นและกึ่งชื้น นอกจากนี้ ยังมีประโยชน์ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วย

ข้อมูลของความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ สามารถใช้วินิจฉัยในลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้คือ

1) เมื่อความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น จะมีการชะละลายและการผุพังอยู่กับที่เพิ่มขึ้นในสภาพแวดล้อมที่ชื้น
2) ถ้าหากมีอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่าร้อยละ 60 ของความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก จะเกิดสภาพเป็นพิษเนื่องจากอะลูมินัม

3) ถ้าหากมีไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้อยู่มาก pH จะต่ำ ซึ่งอาจเป็นผลจาก

ก. มีกรดซัลฟุริกเกิดขึ้นจากออกซิเดชันของซัลไฟด์ เช่น บริเวณที่มีดินเหนียวเปรี้ยวจัด

ข. อาจมีอินทรียวัตถุที่เป็นกรดมากอยู่ เช่น สะสมกันอยู่ในชั้นดินล่าง

ค. อาจเกิดการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมากเกินไปในดินที่เป็นทราย

2.5.3 ค่าระดับความเป็นกรดด่าง (pH)

สามารถใช้ในการวินิจฉัยดินได้มาก ปกติแล้วค่า pH ของดินในสนาม จะสูงกว่าค่าในห้องปฏิบัติการเล็กน้อย

2.5.4 ค่าอิ่มตัวเบส เป็นค่าที่วิเคราะห์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าเบสที่แลกเปลี่ยนได้ และความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ และสามารถใช้ในการพิจารณาดินได้ในลักษณะต่อไปนี้ คือ

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

2) ใช้เป็นข้อมูลในการวินิจฉัยอันดับของดิน

2.5.5 ค่าเหล็กอิสระ หรือเหล็กที่สกัดได้ ในเขตสภาพภูมิอากาศร้อนและชื้น ที่มีกระบวนการผุพังอยู่กับที่อย่างรุนแรง เหล็กจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และหลุดออกจากแร่ปฐมภูมิมาอยู่ในรูปของเหล็กออกไซด์อิสระ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับสภาพการระบายน้ำของดินด้วย คือดินที่มีค่าเหล็กอิสระสูงสภาพการระบายน้ำจะต่ำ ข้อมูลที่วิเคราะห์เหล็กที่สกัดได้จะใช้ประโยชน์ได้หลายประการ คือ

1) ใช้พิจารณาเกี่ยวกับความรุนแรงของการผุพังอยู่กับที่ในดิน เช่นในดินที่มีแร่ในการสลายตัวได้ง่าย ค่าร้อยละของเหล็กอิสระจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการผุพังอยู่กับที่เพิ่มขึ้นและอายุดินมากขึ้น

2) เหล็กอิสระจะมีปริมาณลดลง ถ้าหากว่าดินมีการระบายน้ำไม่ดีเท่าที่ควร

3) ค่าร้อยละของเหล็กอิสระที่ใช้ในการวินิจฉัยชั้นดินล่างร่วมกับคาร์บอน และอะลูมินัม เป็นต้น

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 สามารถ

นำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้น โลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compounds) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (Organometallic compounds) 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

2.6.3 ลักษณะเฉพาะที่สำคัญของโลหะหนัก

2.6.3.1 ทองแดง (Copper)

ทองแดงเป็นโลหะที่มนุษย์ขุดขึ้นมาใช้ก่อนเหล็ก ตั้งแต่มนุษย์ยุคบ้านเชียง เมื่อห้า-หกพันปีมาแล้วและใช้เรื่อยมาถึงปัจจุบัน กล่าวได้ว่ามีการใช้ทองแดงกันทุกบ้านที่ใช้ไฟฟ้า ในบรรดาโลหะที่นำมาใช้ พบว่า ทองแดงถูกนำมาใช้เป็นอันดับสาม รองจากเหล็กและอลูมินัม

มนุษย์ค้นพบวิธีหลอมโลหะทองแดงโดยบังเอิญ ในปลายยุคหินใหม่ เมื่อ 6,000 ปีก่อน เมื่อเผาแร่ทองแดงกับถ่าน ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน กลายเป็นโลหะทองแดง ดังสมการ 2.9

$$2CuO + C \rightleftharpoons 2Cu + CO_2 \qquad (2.9)$$

การค้นพบวิธีถลุงทองแดงนี้เป็นการยกระดับอารยธรรมของมนุษย์ที่ใช้เครื่องมือหิน มีผู้พบเหมืองทองแดงโบราณ ในบริเวณที่เป็นประเทศอียิปต์ คาบสมุทรซีนาย (Sinai), สุเมเรีย (Sumeria) และคาลเดีย (Chalder) และเชื่อว่าเมื่อประมาณ 6,000 ปีล่วงมาแล้ว เกาะไซปรัสเป็นแหล่งผลิตทองแดงที่สำคัญ และต่อจากนั้นอีกประมาณหนึ่งพันปี ก็เริ่มมีการพัฒนาแหล่งแร่ทองแดงขนาดใหญ่ในภาคใต้ของสเปน ในเวลาเดียวกันนี้มนุษย์ในภูมิภาคอื่นๆ ของโลกก็รู้จักใช้ทองแดงด้วย เช่น จีน อินเดีย หรือแม้แต่ในเอเชียอาคเนย์ การค้นพบตอนแรกๆ เป็นการนำโลหะทองแดงมาใช้โดยตรง ต่อมาพบว่าเมื่อผสมกับดีบุกทำให้แข็งและใช้งานได้ดีกว่าทองแดงล้วน ๆ โลหะผสมของทองแดงและดีบุก ได้รับความนิยมและใช้กันมากที่สุด จนเราเรียกมนุษย์ยุคนั้นว่า ยุคทองสัมฤทธิ์

ประโยชน์ของทองแดง

มีการใช้โลหะทองแดงในงานต่าง ๆ หลายประเภทอย่างกว้างขวางนับพันๆ ชนิด ที่สำคัญพอจำแนกได้โดยประมาณดังนี้ คือ

- เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ นับตั้งแต่สายไฟฟ้า โทรทัศน์ และอื่น ๆ มากมาย
- ใช้ทำโลหะผสมต่าง ๆ หลายชนิด ที่ใช้มากและสำคัญที่สุด คือ ทองสัมฤทธิ์ (Bronze) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงและดีบุก ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องยนต์ทั้งเล็กและใหญ่ ตลอดจนพระพุทธรูปทองและระฆัง โลหะผสมอีกชนิดที่รู้จักกันดีอีกอย่างคือ ทองเหลือง (Brass) มีทองแดงผสมกับสังกะสี ในอัตราส่วน 2:1
- ใช้ในงานก่อสร้างต่างๆ เช่น ท่อน้ำ ชายคา หลังคา และสายล่อฟ้า
- เครื่องใช้ในครัวเรือน เครื่องประดับ ตะเกียง ฯลฯ
- ใช้เคลือบรองผิวโลหะเรียบ (Electroplating) ชั้นในก่อนนำไปชุบโลหะอื่น เช่น ชุบโครเมียม
- ทำเหรียญกษาปณ์ เหรียญสตางค์แดงสมัยก่อนมีทองแดงผสมอยู่ร้อยละ 95 ดีบุกร้อยละ 3 สังกะสีร้อยละ 1.5 และอื่น ๆ อีกร้อยละ 0.5 เหรียญบาทปัจจุบันเป็นโลหะผสมที่มีทองแดงและนิกเกิลประมาณ 75:25 ส่วนเหรียญห้าบาทใช้ทองแดงมากกว่านี้
- เป็นโลหะยุทธปัจจัยใช้ทำอาวุธต่างๆ หลายชนิด
- สารประกอบของทองแดงใช้ในอุตสาหกรรมเคมีต่างๆ เช่น ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และสารเคมีต่างๆ

ทรัพยากรแร่ทองแดง

แร่ที่มีทองแดงเป็นส่วนประกอบในธรรมชาติมีอยู่ถึงกว่า 150 ชนิด แต่สินแร่ทองแดงที่จัดว่าสำคัญมีเพียง 8 ชนิด ได้แก่ Chalcopyrite ($CuFeS_2$), Enargite (Cu_3AsS_4), Bornite (Cu_5FeS_4), Azurite ($Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$), Malashite ($Cu_2CO_3(OH)_2$), Chalcocite (Cu_2S), Cuprite (Cu_2O) และ Native Copper (Cu) สินแร่เหล่านี้แบ่งออกได้เป็น 4 จำพวก คือ แร่ซัลไฟด์ ซึ่งเป็นแร่ปฐมภูมิ ซึ่งตกผลึกจากสารละลายจากใต้พื้นโลก แร่ทองแดงคาร์บอเนตและออกไซด์เป็นแร่ทุติยภูมิ ซึ่งเป็นผลจากการผุสลายตัวของแร่ทองแดงปฐมภูมิทั้งหลาย ส่วนแร่ทองแดงธรรมชาติ (Native Copper) อาจจะเป็นได้ทั้งแร่ปฐมภูมิหรือทุติยภูมิก็ได้ (สุจิตร, 2530)

อันตรายจากทองแดง

ร่างกายสามารถควบคุมปริมาณทองแดงโดยเมือกในลำไส้ และยังสามารถกำจัดทองแดงในตับโดยน้ำดี จึงทำให้ไม่เกิดการสะสมของทองแดงในร่างกาย จนเป็นเหตุให้เกิดโรคเรื้อรัง เช่น เดียวโลหะหนักอื่น ๆ ทองแดงยังเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย มีปริมาณจำกัดค่อนข้างต่ำ ประมาณ 2.0-2.5 มิลลิกรัมต่อวัน และจะต้องอยู่ในรูปของสารประกอบที่ละลายน้ำได้

ถ้าร่างกายได้รับทองแดงในปริมาณมากๆ อาจทำให้เกิดโรคโลหิตจางได้ แต่ถ้าร่างกายขาดจะมีผลต่อการเจริญเติบโต การสร้างกระดูก การสืบพันธุ์ การสร้างเยื่อเกี่ยวพัน การทำงานของหัวใจ การสร้างเม็ดเลือด (สิริโสภา, 2542)

ทองแดงเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ กระบวนการเมตาบอลิซึมของทองแดงค่อนข้างจะซับซ้อนในร่างกายสัตว์ ทองแดงจะทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุหลาย ๆ ชนิด เช่น โมลิบดีนัม ซัลเฟต แมงกานีส สังกะสี และธาตุเหล็ก คนหรือสัตว์ที่ขาดทองแดงจะแสดงโลหิตจาง พบอาการผิดปกติของระบบหมุนเวียนโลหิตและหัวใจ กระบวนการสร้างเม็ดเลือด ตลอดจนการสร้างกระดูกจะลดน้อยลง สัตว์จะไม่เจริญเติบโต (สง่า, 2527)

ปฏิกิริยาระหว่างทองแดง-โมลิบดีนัม-ซัลเฟต ในร่างกายจะแตกต่างกันในสัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์กินเนื้อ มีรายงานครั้งแรกพบว่าโรคท้องร่วงอย่างรุนแรงที่พบในโคที่เกิดจากการเป็นพิษเนื่องจากโมลิบดีนัมนั้น รักษาให้หายได้โดยให้สัตว์กินทองแดงในปริมาณสูง ๆ ต่อมามีรายงานว่าโมลิบดีนัมใช้รักษาโรคเป็นพิษที่เกิดจากทองแดงได้เช่นเดียวกัน

โรคเป็นพิษที่เกิดจากทองแดง รวมทั้งปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับแร่ธาตุตัวอื่น ๆ เป็นปัญหาหนึ่งในสัตว์ ถ้าอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์มีส่วนผสมของแร่ธาตุเหล่านี้ไม่ถูกต้อง โดยทั่วไปแล้วทองแดงเป็นแร่ธาตุที่ปลอดภัยใช้ผสมอาหารในอาหารสัตว์ได้ ส่วนโมลิบดีนัมนั้นไม่ปลอดภัยต่อสัตว์และไม่จำเป็นที่จะต้องผสมธาตุนี้ในอาหารสัตว์ ความต้องการของแร่ธาตุในสัตว์แต่ละชนิดไม่เหมือนกันโดยเฉพาะในโค กระบือมีความทนทานต่ออาหารที่ผสมทองแดงโดยไม่มีโมลิบดีนัมผสมอยู่ด้วย โดยไม่แสดงอาการพิษเนื่องจากทองแดง แกะจะมีความไวต่อการเป็นพิษที่เกิดจากทองแดงมากกว่าโค กระบือ

2.6.3.2 เหล็ก (Iron)

เหล็กมีอยู่ทั่วไปในน้ำธรรมชาติและดิน ในน้ำนั้นโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งเป็นรูปของของเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ไอออนของเหล็กสามารถเปลี่ยนรูปได้โดยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ดังสมการ (2.10 – 2.11)

$$4Fe^{3+} + O_2 + 4H^+ \longrightarrow 4Fe^{3+} + 2H_2O \qquad (2.10)$$

เฟอร์ริกไอออนจะทำปฏิกิริยากับน้ำต่อ ได้ดังสมการ

$$Fe^{3+} + mH_2O \longrightarrow Fe(OH)_m^{(3-m)} + mH^+ \qquad (2.11)$$

เหล็กในดินจะอยู่ในรูปของแร่ไพรอกซีน แอมฟิโบล ไพไรด์ ไลมอไนด์ และฮีมาไทด์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีในแร่ทุติยภูมิซึ่งเป็นออกไซด์ ซัลไฟด์ และซิลิเกต รวมทั้งสารอินทรีย์ที่จับเหล็กไว้เป็นเหล็กคีเลต สารประกอบอย่างง่ายที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ได้แก่ ไอออนของเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้และที่อยู่ในสารละลายของดิน, ferrosoferric hydroxides และเกลือเฟอร์รัสต่าง ๆ

อันตรายจากเหล็ก

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เหล็กมีอันตรายเพียงเล็กน้อย เมื่อสัมผัสผิวหนังจะไม่ก่อให้เกิดอันตราย เมื่อหายใจเข้าไปอาจเกิดอาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ฝุ่นของเหล็กเมื่อเข้าตาจะทำให้เกิดการระคายเคือง และเมื่อรับประทานเข้าไปมาก ๆ จะรบกวนระบบการทำงานของกระเพาะอาหารและลำไส้ เหล็กมีค่า LD_{50} สำหรับการรับทางปากเท่ากับ 30 กรัม/kg

ฝุ่นของเหล็กเมื่อได้รับความร้อนหรือถูกเผาไหม้สามารถติดไฟได้ปานกลางและอาจเกิดอันตรายจากการระเบิดได้ มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาต่ำ

2.6.3.3 แมงกานีส (Manganese)

แมงกานีสเป็นโลหะเนื้อแข็ง ใช้เป็นส่วนประกอบในโลหะผสมเกือบทุกชนิด เนื่องจากมีคุณสมบัติทำให้โลหะผสมมีความแข็งแรงและเหนียวมากขึ้น แมงกานีสในเตาถลุงเหล็กจะช่วยกำจัดออกซิเจนและกำมะถันที่ตกค้างอยู่ในเนื้อเหล็กให้หมดไป เหล็กกล้าที่ผลิตได้แต่ละตันจะต้องใช้แมงกานีสประมาณ 7 กิโลกรัมจึงถือว่าแมงกานีสเป็นธาตุผสมในเหล็กที่ดีที่สุดที่ยังไม่มีธาตุใดแทนที่ได้ ดังนั้น ผลผลิตแมงกานีสร้อยละ 90 ในโลก จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า เรียก เฟอร์โรแมงกานีส (Ferromanganese) นอกจากนี้ ยังใช้ทำโลหะผสมทองแดง สังกะสี อลูมิเนียม ดีบุก และตะกั่วได้ด้วย ในอุตสาหกรรมเคมีใช้เป็นตัวลดออกซิเจน (Deoxidizer) ที่สำคัญ เช่น ใช้ในโรงงานผลิตสี ในอุตสาหกรรมแก้ว ใช้ทำแบตเตอรี่แห้ง และถ่านไฟฉาย เป็นตัวทำให้เกิดสีในอิฐ เครื่องปั้นดินเผา และเครื่องแก้ว

ทรัพยากรแร่แมงกานีส

สินแร่สำคัญในแมงกานีสอยู่ในหมู่ออกไซด์ คือ ไพโรลูไซต์ (Pyrolusite; MnO_2) แมงกาไนต์ (Manganite; MnO.OH) ซิโลมิเลน (Psylomelane; $(Ba.Mn)_3(O.OH)_6Mn_8O_{16}$) และฮอนแมนไนต์ (Hausmanite; Mn_3O_4) แร่เหล่านี้ล้วนมีสีดำคล้ายถ่านและมักเกิดรวมกันเสมอ แร่โรโดโครไซต์ (Rhodochrosite; $MnCO_3$) ซึ่งมีสีชมพูคล้ายแคลไซต์ บางแห่งนำมาใช้ประโยชน์เป็นสินแร่ได้ (สุจิตร, 2530)

อันตรายจากแมงกานีส

เนื่องจากแมงกานีสเป็นโลหะจำเป็นสำหรับการทำงานของเอนไซม์บางตัว ดังนั้น การรับแมงกานีสจากอาหารในระดับ 10 มิลลิกรัมต่อวัน จึงไม่ถือว่าเป็นอันตราย ในขณะที่แมงกานีสในปริมาณมาก ๆ เป็นพิษ แต่ก่อนที่จะถึงระดับนั้นจะก่อความรำคาญอย่างหนักขึ้นก่อน แมงกานีสความเข้มข้นเกินกว่า 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร หรือความเข้มข้นกับเหล็กที่มากกว่า 0.3-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร จะเริ่มเกิดปัญหา โดยที่แมงกานีสจะตกตะกอนแยกตัวจากน้ำมาสัมผัสกับออกซิเจนหรือคลอรีน เกิดเป็นคราบจับติดอยู่ภายในท่อ ซึ่งบางครั้งก็หลุดติดไปกับน้ำประปาด้วย คราบที่เกิดจากแมงกานีส ไดออกไซด์จะมีสีดำ แต่ถ้ามีเหล็กอยู่ด้วยจะมีคราบสีน้ำตาลเข้ม ถ้าใช้น้ำประปาที่มีแมงกานีสเจือปนอยู่ซักผ้าสีอ่อนๆ จะมีรอยด่าง หรือถ้าใช้กับสุขภัณฑ์สีขาวจะมีคราบ น้ำที่มีแมงกานีสอยู่จะเปลี่ยนรสของเครื่องดื่ม องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา

63480

(U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA) ได้กำหนดมาตรฐานน้ำดื่มต้องมีแมงกานีสไม่เกิน 0.05 มก./ล. (อุดร, 2545)

ร่างกายได้รับแมงกานีสปริมาณมาก ๆ จะทำให้ระบบประสาทส่วนกลางถูกทำลายส่งผลให้กล้ามเนื้อหมดแรงได้ ถ้าเข้าสู่ปอดทำให้ปอดบวม มีผลต่อสมองทำให้ร่างกายพิการได้ (สิริโสภา, 2542)

2.6.3.4 ตะกั่ว (Lead)

มนุษย์รู้จักใช้ตะกั่วมานานนับปีแล้ว ตั้งแต่ยุคแรก ๆ ของประวัติศาสตร์ ประเทศจีนใช้ตะกั่วในการทำเหรียญกษาปณ์แทนเงินเมื่อ 4,000 ปี ล่วงมาแล้ว จากหลักฐานท่อน้ำตะกั่วในนครปอมเปอิโบราณ (Pompaii) แสดงว่าสมัยโรมันทางยุโรปก็ใช้ตะกั่วเป็นเครื่องใช้ต่างๆ เช่น ทำท่อ เครื่องประดับ เหรียญเงิน เป็นต้น ร่องรอยการทำเหมืองเงินและตะกั่วพบอยู่ทั่วไปในบริเวณต่างๆ แถบประเทศเมดิเตอร์เรเนียน อินเดีย จีน เปอร์เซีย และอาระเบีย ในบรรดาโลหะที่ใช้ไม่นับหมู่โลหะที่อยู่ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า (Nonferrous metals) ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี เป็นโลหะพื้นฐานที่จัดว่ามีความสำคัญที่สุดมานานนับร้อย ๆ ปี จนเรียกว่ากลุ่มโลหะพื้นฐาน (Base metals) ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ทุกวันนี้

ประโยชน์ของตะกั่ว

- ตะกั่วประมาณหนึ่งในสามของผลผลิตนำมาใช้ในรูปของตะกั่วออกไซด์ต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมสี เช่น สีแดง (Red lead) สีเหลืองส้ม (Litharge) และสีขาว (Lead carbonate) ตะกั่วขาวและแดงใช้ในการทำสี ตะกั่วสีส้ม เป็นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมกระจก เครื่องเคลือบบางชนิด
- ใช้ทำหม้อแบตเตอรี และโลหะหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าต่างๆ
- สารเตตระเอทิลเลด (Tetraethyl lead; $Pb(C_2H_5)_4$) ซึ่งเป็นตัวเติมในน้ำมันเบนซินพลังสูงและทำให้เครื่องยนต์เดินเรียบขึ้น (Anti-knock) เป็นส่วนประกอบหนึ่งในสามของน้ำมัน และนับวันจะมีปริมาณมากขึ้นตามปริมาณการใช้น้ำมัน นอกจากนี้ เป็นการใช้ประโยชน์ที่สูญไปในรูปของไอตะกั่วไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกซึ่งเป็นมลพิษ (Pollution) ต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอีกด้วย
- ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมทำท่อน้ำต่างๆ ตลอดจนท่อพีวีซี
- ใช้ในการผลิตกระสุนปืนชนิดต่าง ๆ
- ใช้ในอุตสาหกรรมโลหะผสมต่าง ๆ เช่น ผสมดีบุก ผสมพลวง ผสมทองแดง ผสมบิทมัส
- ใช้ในระบบสัญญาณไฟไหม้อัตโนมัติ ซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่ 70 องศาเซลเซียส

ทรัพยากรแร่ตะกั่ว

สินแร่ของโลหะตะกั่วและสังกะสีมักเกิดร่วมกันเสมอในธรรมชาติ มีเพียงบางแหล่งที่มีสินแร่โลหะเพียงชนิดเดียว โดยไม่มีอีกชนิดหนึ่ง แร่ตะกั่วที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เป็นแร่สำคัญในการถลุงเป็นโลหะนั้น เป็นแร่ชนิดที่มีลักษณะโครงสร้างไม่ยุ่งยาก ที่สำคัญมีเพียง 3 ชนิด เป็นแร่หมู่ซัลไฟด์และสินแร่มีส่วนประกอบของออกซิเจนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ สินแร่กาลีนา (PbS) สินแร่

เซรัสไซต์ ($PbCO_3$) และสินแร่เองกลีไซต์ ($PbSO_4$) ในปัจจุบันเนื่องจากเทคโนโลยีในการทำเหมืองและการถลุงโลหะเจริญก้าวหน้ามากขึ้นจนสามารถถลุงแร่ตะกั่วที่ปนอยู่กับโลหะอื่น ๆ อีกหลายชนิด

อันตรายจากตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษต่อร่างกายสูงอีกชนิดหนึ่ง เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกสะสมในกระดูก เส้นโลหิต และสมอง ส่วนในระบบอื่น ๆ สามารถสะสมตะกั่วได้เต็มที่ในระยะเวลาสั้น ๆ และแสดงอาการเปลี่ยนแปลงที่ร่างกายได้รวดเร็ว ตะกั่วไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ดังนั้นร่างกายจึงต้องกำจัดออก คณะกรรมการทางการแพทย์ได้พิจารณาลงความเห็นว่า ปริมาณตะกั่วในโลหิตไม่เกิน 40 ไมโครกรัม/100 ลูกบาศก์เซนติเมตรของโลหิต จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายร่างกายของคนเราจะดูดซึมตะกั่วได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาวะร่างกายของผู้รับและสถานภาพของตะกั่ว เช่น ตะกั่วในรูปสารประกอบอินทรีย์จะสามารถซึมเข้าทางผิวหนังได้หรือเพศชายสามารถรับตะกั่วได้ปริมาณมากกว่าเพศหญิง พิษตะกั่วจะมีผลกระทบทางเดินอาหาร ทำให้เกิดการเบื่ออาหาร คลื่นไส้อาเจียน ต่อระบบสมอง เช่น ทำให้เกิดกระวนกระวาย ฉุนเฉียวง่าย สติคุ้มดีคุ้มร้าย ชักหมดสติได้ และอาจถึงแก่ความตายได้ ผลต่อระบบโลหิต เช่น ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง อ่อนเพลีย เมื่อร่างกายได้รับตะกั่วในปริมาณสูง จะเกิดอาการปวดท้องอย่างรุนแรง อุจจาระเป็นเลือด เกิดอาการช็อค ตื่นเต้นง่าย มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและหน้าที่ของไต มีผลต่อระบบประสาท ทำให้ชา อ่อนเพลีย ความจำเสื่อม สั่น ชัก และตายในที่สุด (วไลลักษณ์, 2544) สำหรับพิษแบบเรื้อรังที่สำคัญ ได้แก่ โรคโลหิตจาง ไตพิการ ทำลายเนื้อเยื่อสมอง ผลกระทบทางอ้อม จะทำให้ความต้านทานของร่างกายต่อโรคหลายชนิดลดลง

ตะกั่วนอกจากเป็นอันตรายต่อมนุษย์แล้ว ยังเป็นอันตรายต่อสัตว์เลี้ยงและปศุสัตว์อีกด้วย ตะกั่วเป็นส่วนประกอบของของใช้มากมายหลายชนิดที่ใช้ในทางเกษตรและชีวิตประจำวัน รวมทั้งสีทาบ้าน แบตเตอรีรถยนต์ น้ำมันชนิดต่าง ๆ ท่อต่าง ๆ น้ำมันหล่อลื่นมีส่วนผสมของตะกั่วประมาณ 50% หรือน้ำมันเบนซินชนิดซุปเปอร์มีส่วนผสมของตะกั่วในรูปของเตตราเอ็ททิลและเตตราเม็ททิลในอัตราส่วน 0.7 กรัมต่อลิตร หรือ 0.07 ส่วนในล้านส่วน เพื่อเป็นสารป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์ อันตรายที่เกิดขึ้น คือ ตะกั่วในรูปนี้สามารถจะเข้าสู่ร่างกายได้โดยซึมเข้าทางผิวหนังและสูดดมเข้าไป ตะกั่วเตตราเอทิลนี้สามารถซึมเข้าไปในเซลล์ของทางเดินหายใจตั้งแต่จมูกจนถึงปอดได้ (เปี่ยมศักดิ์, 2543)

จากรายงานของสถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ก่อนที่จะมีการใช้น้ำมันไร้สารตะกั่ว) ปริมาณตะกั่วในสิ่งแวดล้อมในกรุงเทพมหานครสูงกว่าอากาศในทะเลหรือบนภูเขาถึง 10,000 เท่า ซึ่งเป็นระดับที่อันตรายต่อผู้สูดดมอย่างไม่ต้องสงสัย จากการสำรวจหญ้าที่เก็บจากริมถนนแล้วตรวจหาปริมาณตะกั่วจากหญ้า พบว่า หญ้า 1 กิโลกรัม มีตะกั่วตกค้างสะสมอยู่สูง 255 มิลลิกรัม หญ้าที่เก็บห่างจากถนน 7.6 เมตร มีตะกั่วตกค้างอยู่ 165 มิลลิกรัมต่อหญ้าหนึ่งกิโลกรัม หญ้าที่เก็บอย่างจากถนน 22.8 เมตร และ 68.6 เมตร มีตะกั่วตกค้างอยู่ 99 และ 67

มิลลิกรัม ต่อหญ้าหนึ่งกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังได้คำนวณว่าโค 1 ตัวกินหญ้าประมาณ 22.5 กรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน เพราะฉะนั้นหากเป็นหญ้าที่มีตะกั่วตกค้างสะสมอยู่แล้วโคจะได้รับตะกั่วประมาณ 1-5.7 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสัตว์ 1 กิโลกรัม ดังนั้น หญ้าที่ขึ้นอยู่ใกล้ถนนใหญ่ที่มีรถยนต์ผ่านไปมามากจึงไม่ควรใช้เลี้ยงสัตว์

นอกจากนี้ ตะกั่วในรูปอาร์ซีเนทยังใช้เป็นส่วนผสมของสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชและสัตว์หลายชนิด ซึ่งควรคำนึงถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการที่สัตว์กินเข้าไปโดยบังเอิญ

ตะกั่วเป็นสารที่สะสมอยู่ในร่างกาย ดังนั้นหากสัตว์ได้รับตะกั่วในปริมาณต่ำ ๆ เป็นระยะเวลานาน จนถึงจุดหนึ่งจะทำให้เกิดอาการป่วยได้ พืชหรืออาหารสัตว์ที่มีตะกั่วตกค้างอยู่ขนาด 260-914 ส่วนในล้านส่วน ทำให้ลูกโคตายได้ โดยทั่วไปแล้ว ไม่ควรมีตะกั่วผสมอยู่ในอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์สูงกว่า 3-7 ส่วนในล้านส่วน

2.7 วิธีการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน (Mulligan, *et al.* , 2001)

วิธีการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน สามารถแบ่งเป็น 11 วิธี ได้แก่

2.7.1 Isolation and containment

คือ วิธีการแยกและควบคุมโลหะหนัก โดยการปรับสภาพให้คงตัว (Solidification) หรือการปรับสภาพให้เสถียร (Stabilization) เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะหนัก

2.7.2 Mechanical separation

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

2.7.3 Pyrometallurgical separation

คือ วิธีการบำบัดสำหรับโลหะหนักที่สามารถระเหยได้ โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-700 องศาเซลเซียส เป็นวิธีการที่เหมาะกับการบำบัดปรอท

2.7.4 Chemical treatment

คือ วิธีการบำบัดทางเคมี โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือ การปรับพีเอชด้วยสารละลายกรดหรือเบส เพื่อลดความเป็นพิษ ตกตะกอน หรือ เพื่อละลายโลหะหนัก

2.7.5 Permeable treatment walls

คือ วิธีการบำบัดโดยใช้แผงกั้นที่มีความสามารถในการซึมผ่าน เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน

2.7.6 Electrokinetics

คือ การแยกไอออนบวกและไอออนลบในน้ำใต้ดิน โดยผ่านกระแสไฟฟ้าไปยัง Cathod และ Anode

2.7.7 Biochemical process

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

2.7.8 Phytoremediation

คือ วิธีการบำบัดโดยใช้พืชเป็นตัวสกัดโลหะหนักออกจากดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งอาจนำวิธีบำบัดวิธีอื่นมาร่วมด้วย เช่น การสกัดโลหะหนักด้วยกรด

2.7.9 Soil flushing

คือ วิธีการสกัดโลหะหนักออกจากดินโดยใช้น้ำหรือสารละลายชะสิ่งเจือปนออกมา ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายในแหล่งปนเปื้อนได้

2.7.10 Treatment of sediments

คือ วิธีการบำบัดกากตะกอนโดยอาศัยหลักการต่าง ๆ เช่น Hydrocyclone, Solidification, Stabilization และ การสกัดด้วยสารละลายกรด

2.7.11 Soil washing (Chemical leaching)

คือ วิธีกำจัดโลหะหนักออกจากดินปนเปื้อนด้วยการใช้สารละลายสกัดต่าง ๆ เช่น คีเลต-ติงค์ เอเจนต์ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายนอกแหล่งปนเปื้อนได้

2.8 การล้างดิน (Soil washing)

การล้างดินเป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดสิ่งที่ปนเปื้อนออกจากดินผ่านตัวกลางในการชะล้าง ซึ่งเหมือนกับวิธีการใช้น้ำล้าง ในกระบวนการล้างดินด้วยตัวสกัดนั้นสารละลายที่ใช้ล้างอาจเป็นสารละลายที่ใช้ล้างอาจเป็นสารละลายที่เป็นด่าง ได้แก่ สารที่กัดกร่อน ปูนขาว หินปูนที่แตกตัวด้วยน้ำ หรือในอุตสาหกรรมที่ใช้สารประกอบที่เป็นเบสในการล้าง เป็นต้น สารละลายกรด ได้แก่ ซัลฟุริก ไฮโดรคลอริก ไนตริก ฟอสฟอริก หรือ คาร์บอนิก เป็นต้น หรือสารละลายที่เป็นสารลดแรงตึงผิว หรือคีเลตติ้งเอเจนต์ พวกเปอร์ออกไซด์ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ หรือตัวออกซิไดซิงเอเจนต์อื่นๆ โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสิ่งที่ปนเปื้อนอยู่ เบสแก่หรือสารละลายลดแรงตึงผิว สามารถใช้ในการสกัดสารอินทรีย์ และสารละลายกรดแก่ หรือสารละลายคีเลตติ้งเอเจนต์สามารถใช้ในการกำจัดโลหะหนักได้ สารลดแรงตึงผิวและคีเลตติ้งเอเจนต์ มีความสำคัญมากในการล้างดิน เพราะดินส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนภายในดิน ขึ้นอยู่กับขนาดของดิน ความพรุน และโครงสร้างทางกายภาพ และทางเคมีของดิน

กระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนในดิน แบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ (Noyes, 1991) ดังนี้

2.8.1. การสกัดด้วยน้ำ ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการสกัดต่าง ๆ ซึ่งนิยมใช้กันมี 3 ประเภท ดังนี้

1) การเติมสารลดแรงตึงผิว เพื่อเพิ่มการละลายของสารปนเปื้อนลงในน้ำ

2) การเติมคีเลตติ้งเอเจนต์ ซึ่งเป็นตัวที่เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับโลหะ และช่วยให้การละลายเกิดดีขึ้น

3) การเติมสารละลายกรดหรือด่าง เพื่อช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ ทำให้เป็นกลาง และทำลายสิ่งปนเปื้อน การล้างดินปกติจะใช้น้ำในการกำจัดสารเคมีหรือมลพิษออกจากดิน สารเคมีเหล่านี้จะยึดเกาะหรือดูดซับกับผิวของอนุภาคซิลท์หรือเคลย์มากกว่าที่จะดูดซับกับอนุภาคทรายหรือดินลูกรัง จุดประสงค์ในการล้างดินอย่างแรก คือ การแยกอนุภาคที่ละเอียดของซิลท์หรือเคลย์ออกจากอนุภาคทรายและดินลูกรัง อีกประการ คือ แยกสารเคมีที่ปนเปื้อนออกจากดินโดยใช้น้ำ หลังจากผ่านการบำบัดแล้วจะเหลือสิ่งที่ตกค้างอยู่ คือ

1) ทรายและดินที่สะอาด ไม่มีสารพิษตกค้างและสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

2) ซิลท์และเคลย์ที่สะอาด ไม่มีสารพิษตกค้างและสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

3) ดินที่ประกอบด้วยซิลท์และเคลย์ที่ละเอียดและยังปนเปื้อนอยู่ ซึ่งต้องบำบัดโดยวิธีอื่น เช่น Incineration

4) น้ำที่ล้างดิน สามารถนำไปบำบัดได้โดยใช้วิธีการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารปนเปื้อน

ข้อดีของวิธีการนี้คือ

1) ทำในระบบปิดจะควบคุมโดยควบคุมค่าพีเอชและอุณหภูมิ

2) ดินที่ปนเปื้อนสารอันตรายอาจถูกกำจัดและบำบัดที่แหล่งกำเนิดได้

3) กำจัดสารปนเปื้อนได้หลายชนิด

4) ราคาถูกเพราะเป็นกระบวนการบำบัดเริ่มต้นไม่ต้องการกลไกที่ซับซ้อน

2.8.2. การใช้สารละลายสกัดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ โดยสารอินทรีย์ที่ละลายได้จะเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในสารละลาย

สารที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยวิธีการล้างดิน มีหลายชนิด ซึ่งประสิทธิภาพจะแตกต่างกันออกไป สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ประเภท คือ

2.8.2.1) การล้างดินด้วยสารประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์ (Chelating agent)

คีเลต (Chelates) คือ สารที่มีความสามารถดูดยึดไอออนบวกบางชนิดให้มาอยู่ร่วมกันอย่างเหนียวแน่น โดยไม่ยอมให้ไอออนบวกอื่นเข้าทำปฏิกิริยาทำให้พวกไอออนบวกที่ถูกดูดยึดอยู่นี้ตกตะกอน เช่น การทำปฏิกิริยาของธาตุไอออนบวกกับไฮดรอกไซด์หรือซัลเฟตไอออน เป็นต้น

สมบัติโดยทั่วไปของสารคีเลตสังเคราะห์ที่สำคัญคือ ลักษณะที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับธาตุโลหะต่าง ๆ ในรูปของโลหะคีเลตเชิงซ้อน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ระดับความสัมพันธ์ของการเกาะยึดธาตุโลหะไว้ได้แน่นหรือไม่แน่นของสารคีเลตชนิดต่าง ๆนั้นได้มีการตรวจสอบหาค่าคงที่

ซึ่งแสดงเปรียบเทียบให้เห็นถึงความคงตัวระหว่างสารคีเลตแต่ละชนิดกับธาตุโลหะต่าง ๆ หรือเรียกว่าค่าคงที่ของความเสถียร (Stability constant ; K) โดยปกติตารางที่แสดงค่าคงที่ความเสถียรของโลหะคีเลตชนิดต่าง ๆ นิยมบอกเป็นค่าของลอการิทึม (log_{10}) ประเมินค่าคงที่ความเสถียรของธาตุโลหะชนิดหนึ่งเปรียบเทียบกับโลหะชนิดอื่น ๆ ที่เกาะยึดอยู่กับสารคีเลตประเภทต่าง ๆ

การกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้สารประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง เนื่องจากสารดังกล่าวสามารถเกิดคีเลชันกับโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน ทำให้เกิดเป็นสารระกอบเชิงซ้อน แต่สารชนิดนี้มีราคาสูงจึงไม่นิยมใช้

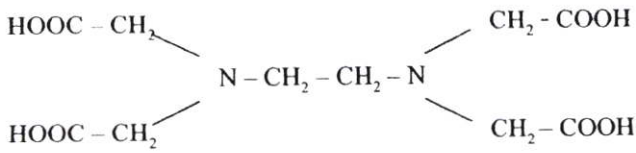
Elliot และ Peter กล่าวถึงการใช้สารคีเลตติ้งเอเจนต์กับกับการแก้ปัญหาของดิน ควรคำนึงถึงปัจจัยสำคัญ 4 ข้อ ดังนี้

1. สารเคมีควรมีความสามารถเกิดในสารเชิงซ้อนที่เสถียรในช่วงพีเอชที่กว้างที่อัตราส่วนลิแกนด์ต่อโลหะ 1:1 M
2. การย่อยสลายทางชีวภาพของสารคีเลตติ้งและสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนักควรมีค่าต่ำ (ยกเว้นกรณีที่ใช้สารคีเลตติ้งที่ผ่านการใช้มาแล้ว)
3. สารคีเลตติ้งควรมีความเป็นพิษและอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ
4. สารเคมีควรคุ้มค่าต่อการนำมาใช้

Etylenediaminetetraacitic acid (EDTA) จัดเป็นสารคีเลตติง ที่นิยมใช้ในการล้างดิน มีคุณสมบัติดังนี้

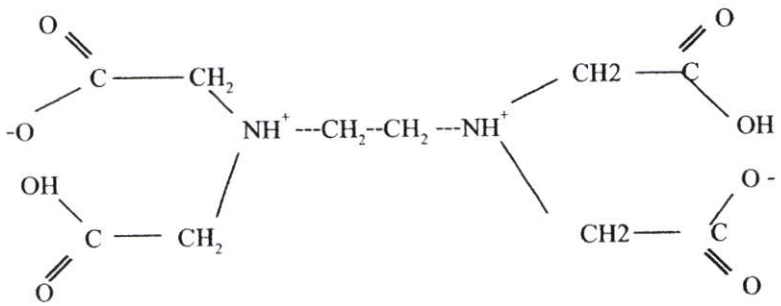
1) โครงสร้างของ ของ EDTA

EDTA คือ ตัวคีเลตติงเอเจนท์ และเป็นพอลิเดนเทตลิแกนด์ มี 6 อะตอมที่สามารถจับอะตอมโลหะได้ในลักษณะคล้าย ๆ กรงเล็บ คำว่า " chele" ในภาษากรีกแปลว่ากรงเล็บซึ่งทำให้เป็นคีเลตติงลิแกนด์ที่ดี และเป็นสารประเภท Tertiary amine ที่ประกอบด้วยหมู่ Carboxyl สามารถเกิดสารเชิงซ้อนแบบคีเลตที่เถียรกับไอออนของโลหะหลายชนิด สูตรโครงสร้างของอีดีทีเอเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 สารนี้ใช้เป็นลิแกนด์เมื่อจับโลหะไอออนจะได้ไอออนเชิงซ้อนหรือโมเลกุลที่มีความเสถียรสูง คือ สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะในรูปของคีเลต เพื่อใช้ในการควบคุมการปนเปื้อนโลหะไอออนอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากธาตุทรานซิชันสามารถสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับกลุ่มของโมเลกุล หรือไอออนเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนที่สามารถจับกับไอออนเกิดเป็นโมเลกุลเชิงซ้อนเรียกว่าสารประกอบโคออดิเนชั่น ซึ่งโลหะไอออนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนคู่ และ ลิแกนด์ คือ ตัวคีเลตติงเอเจนท์เป็นอะตอมจ่าย จึงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมด้านการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ มากมาย



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอีดีทีเอ

สารนี้เป็นกรดอ่อนชนิด Tetraprotic acid มีค่า $k_1 = 1.02\times10^{-2}$ $k_2 = 2.14\times10^{-3}$ $k_3 = 6.92\times10^{-7}$ $k_4 = 5.50\times10^{-11}$ ค่าเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า โปรตอนสองตัวแรกจะหลุดได้ง่ายกว่าสองหลังที่เหลือ ในสารละลายของกรดนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบ ดับเบิ้ลซวิทเทอะไอออน (Double zwitterions) (ดังรูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ EDTA (Double zwitterions)

อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของ O แต่ละตัวในหมู่ OH และของ N แต่ละตัว ทำให้โมเลกุลของ EDTA เป็น ลิแกนด์เฮกซะเดนเทต (Hexadintate ligand) ซึ่งสามารถรวมกับไอออนของโลหะได้ สูตรอย่างย่อของ EDTA คือ H_4Y ต้องอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 130 -145 องศาเซลเซียสเป็นเวลาหลายชั่วโมง การละลายของสารนี้ต้องเติมเบสลงไปเล็กน้อยจะเกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ ส่วนเกลือโซเดียมไดไฮเดรตของ EDTA เป็นที่นิยมมาก ถึงแม้จะมีความชื้นประมาณ 3 % แต่ละลายน้ำได้ และเมื่อเก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดโพลีเอทีลีนจะเสถียรเป็นเวลาหลายเดือน

2) การเกิดสารเชิงซ้อนของ EDTA กับ โลหะ

สมบัติที่ดีของ EDTA คือ เป็นลิแกนด์ที่รวมตัวกับอิอออนของโลหะส่วนใหญ่ด้วยอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1 : 1 ตัวอย่างเช่น ซิลเวอร์ไอออน คอปเปอร์ไอออนและอะลูมิเนียมไอออน เมื่อ รวมกับ EDTA จะให้สารเชิงซ้อนดังสมการที่ 2.12–2.14

$$Ag^{+} + Y^{4-} \rightleftharpoons AgY^{3-} \qquad (2.12)$$

$$Cu^{2+} + Y^{4-} \rightleftharpoons CuY^{2-} \quad (2.13)$$

$$Al^{3+} + Y^{4-} \rightleftharpoons AlY^{-} \quad (2.14)$$

สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเป็นแบบคีเลตที่เป็นตัวการที่ทำให้สารเหล่านี้เสถียร เป็นผลเนื่องมาจากลักษณะการเกิดพันธะเคมีของลิแกนด์ที่มีทิศทางทำให้ไอออนของโลหะอยู่ตรงกลางและล้อมรอบด้วยลิแกนด์ซึ่งจะทำให้ไอออนของโลหะแยกตัวออกจากโมเลกุลของตัวทำละลายได้

3) ค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนสำหรับ EDTA

ค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนสำหรับ EDTA คือ K_{MY} ของไอออนของโลหะต่างๆ ที่ มี EDTA เป็นลิแกนด์ ค่านี้เกี่ยวกับความเข้มข้นของ Y^{4-} ดังสมการที่ 2.15-2.16

$$M^{n+} + Y^{4-} \rightleftharpoons MY^{(n-4)+} \quad (2.15)$$

$$K_{MY} = \frac{[MY^{(n-4)+}]}{[M^{n+}][Y^{4-}]} \quad (2.16)$$

4) ผลของ pH ที่มีต่อองค์ประกอบของ EDTA

เนื่องจาก K_{MY} มีความเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของ Y^{4-} แต่ในสารละลายของ EDTA จะประกอบด้วยไอออนและโมเลกุลนอกเหนือไปจาก Y^{4-}, HY^{3-}, H_2Y^{2-}, H_3Y^{-} และ H_4Y สารเหล่านี้มีความเข้มข้นมากน้อยแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าพีเอช จะเห็นว่าที่ pH 3-6 คือที่สารละลายเป็นกรดอ่อนเกือบเป็นกลาง H_2Y^{2-} จะเป็นสารที่มีมากที่สุด แต่ถ้าสารละลายเป็นกลางหรือค่อนข้างเป็นเบสเล็กน้อย คือ pH ระหว่าง 6-10 EDTA ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป HY^{3-} แต่ถ้า pH สูงกว่า 10 EDTA จะอยู่ในรูป Y^{4-} จะเป็นสัดส่วนที่มีมากที่สุด ดังนั้นปฏิกิริยาของการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไอออนของโลหะไดวาเลนท์กับ EDTA ในสารละลายที่เป็นกรดเล็กน้อยจะเป็นดังสมการที่ 2.17

$$M^{2+} + H_2Y^{2-} \rightleftharpoons MY^{2-} + 2H^{+} \quad (2.17)$$

5) ความเป็นพิษของ EDTA

- มวลต่อโมล : 292.25
- ชื่ออื่น Ethyleneditrilotetraacetic acid Ethylenediaminetraacetic acid ; EATA

- ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย : ระคาย เคืองต่อตาเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ อาจมีผลเสียระยะยาวต่อสภาวะสภาวะแวดล้อมในน้ำ
- ข้อมูลทางพิษวิทยาพิษเฉียบพลัน LD_{50} (oral, rat) : >2000 mg/kg
- ข้อมูลเพิ่มเติมทางพิษวิทยา

  เข้าตา : ระคายเคือง

  กลืนกิน : ไม่มีรายละเอียดของอาการพิษ รบกวนสมดุลของอิเล็คโตรไลต์ในร่างกาย
- ข้อมูลเชิงนิเวศน์

  - การย่อยสลายทางชีวภาพ : กำจัดได้เล็กน้อย (การลดลงของ DOC < 20%)

  - ผลกระทบทางชีวภาพ : เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ อาจก่อให้เกิดผลเสียระยะยาวต่อระบบนิเวศน์ทางน้ำ

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

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

    L. idus LC_{50}: 2,040 mg/l

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

  - ความสามารถในการถูกย่อยสลาย : BOD_5 0.01 mg/lห้ามทิ้งลงสู่ระบบน้ำ, น้ำเสีย หรือดิน

2.8.2.2) การล้างดินด้วยสารประกอบรีดิวซิงเอเจนต์ (Reducing agent)

กระบวนการของรีดิวซิงเอเจนต์อาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยทำให้อิเล็กตรอนของรีดิวซิงเอเจนต์มีจำนวนลดลง ซึ่งรีดิวซิงเอเจนต์เป็นตัวให้อิเล็คตรอน และการเกิดปฏิกิริยาจะแปรผันตามสารอินทรีย์และโลหะ โดยทั่วไป สารประเภทรีดิวซิงเอเจนต์ เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเครื่องหนัง เป็นต้น เนื่องจากสารประกอบรีดิวซิงเอเจนต์เหล่านี้มีราคาถูก จึงนำมาใช้ในการล้างดิน แต่ประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร ในปัจจุบันจึงมีการนำสารดังกล่าวมาใช้ควบคู่กับคีเลตติ้งเอเจนต์เพื่อประสิทธิภาพของการล้างดิน และลดต้นทุนในการกำจัดโลหะหนักออกจากดินและกากตะกอน

โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite) จัดเป็นสารรีดิวซิงเอเจนต์ มีคุณสมบัติดังนี้

1) ลักษณะ

โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ เป็นสารที่เคลื่อนที่อิสระ มีสีขาวเป็นผลึกขนาดเล็กเป็นผงแป้งมีกลิ่นคล้ายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) สามารถพบได้ในแหล่งกำเนิดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารรีดิวส์ ในรูปแบบของของแข็งที่แห้ง

2) คุณสมบัติ

สูตรโครงสร้างคือ $Na_2S_2O_5$ มีน้ำหนักโมเลกุล 190.11 ความหนาแน่นของสาร 1.48 กรัม/มิลลิลิตร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ มีค่าการละลายที่ 60 °F 39 % มีค่า pH ในสารละลาย 5 % เท่ากับ 4.3 และความหนาแน่นรวม 86 lb/ft^3

3) การใช้ประโยชน์

3.1 โรงงานอุตสาหกรรมเคมี ใช้เป็นตัวรีดิวส์ของแอลดีไฮด์และคีโตน

3.2 การบำบัดน้ำเสีย ทำปฏิกิริยากับโครเมียม เป็นสารต่อต้านคลอรีน ใช้ในกระบวนการลดความเค็มจากน้ำทะเลมาผลิตเป็นน้ำดื่มในระบบรีเวอร์สออสโมซิส

3.3 อุตสาหกรรมสี ใช้ผสมสีย้อม และเป็นสารฟอกย้อมหนังสัตว์ ปอ และเส้นใยต่าง ๆใช้เป็นสารต่อต้านคลอรีน และทำแถบสี (Colors stripper)

3.4 อุตสาหกรรมหนัง เป็นสารละลายที่ใช้ในการสกัดหนัง

3.5 อุตสาหกรรมยาง ใช้ทำยางให้มีความเสถียร

3.6 อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในการถนอมอาหารและยับยั้งเอนไซม์ในผลไม้แห้ง แยม เยลลี่ และผักที่ถูกทำให้แห้ง น้ำผลไม้สด อาหารทะเล อาหารกระป๋อง ใช้ในโรงงานน้ำตาลและการผลิตไวน์

3.7 โรงเบียร์ ใช้ฆ่าเชื้อโรคในขบวนการหมักและรักษาคุณภาพ

3.8 อุตสาหกรรมถ่ายรูป เป็นสารเคมีที่ใช้ในการทำรูปถ่ายให้คงที่สีไม่ตก

3.9 สิ่งแวดล้อม ใช้ลดความเป็นพิษของโครมิคในโรงงานชุบโลหะและฟอกย้อมโดยการรีดิวซ์ Cr^{6+} ไปเป็น Cr^{3+} (ดังสมการที่ 2.18-2.19) หรือใช้เป็นสารลดความเป็นพิษของไซยาไนด์

$$Cr^{6+} + Na_2S_2O_5 \rightleftharpoons Cr^{3+} + SO_4^{2-} \qquad (2.18)$$

$$Cr^{3+} + 3\,OH^- \rightleftharpoons Cr(OH)_3 \qquad (2.19)$$

4) ความเป็นพิษ

โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา จมูก และหลอดลม หรืออาจเป็นสาเหตุให้ระคายเคืองต่อผิว ถ้ากลืนลงไปอาจเป็นอันตรายได้ แต่เมื่อให้ความร้อนหรือผสมกับกรดหรือน้ำ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เป็นพิษก็จะลดลง ถ้าสูดดมเข้าไปอาจทำอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ หรืออาจเป็นสาเหตุให้เกิดการแพ้อย่างรุนแรงในคนที่เป็นโรคหอบหืด หรือคนที่มีความไวต่อซัลเฟอร์ สารโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง ควรจับหรือถือสารด้วยความระมัดระวัง ควรรู้จักวิธีการเก็บรักษา จัดเตรียมและการกำจัดผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสม

2.8.3 การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในดิน

2.8.3.1 การกำจัดสิ่งปนเปื้อนโดยใช้ความร้อน

นิยมใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้โดยใช้ไอน้ำหรืออากาศมาประยุกต์ใช้โดยอาศัยความร้อนและสภาวะสุญญากาศ หรือทั้งสองแบบมาช่วยเพิ่มอัตราการสกัด วิธีการนี้ควรมีการกำจัดพวก Flue gas ด้วยโดยใช้ถุงกรอง ตัวควบแน่น สครับเบอร์และแอ็คติเวเต็ดคาร์บอน หรืออาจใช้พวก Catalytic oxidizing reactor ก่อนเริ่มบำบัดต้องกำจัดพวกหินที่มีขนาด 20 มิลลิเมตรหรือมากกว่าออกก่อน

2.8.3.2 การขุดดินเป็นทาง (Excavation)

การขุดดินเป็นทางและการกำจัดทางกายภาพของดินเป็นวิธีที่เหมาะสำหรับการกำจัดสารปนเปื้อนในดิน มักใช้พื้นที่มากรวมทั้งพื้นที่ที่ปนเปื้อนด้วย ข้อดีของวิธีนี้คือทำได้รวดเร็ว ข้อเสียก็คือพื้นที่ที่ต่างกันก็ไม่สามารถกำจัดได้เหมือนกัน ซึ่งอาจจะต้องตรวจสอบความเสี่ยงในการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนและอนุภาคฝุ่นระหว่างการกำจัดและการขนส่งสารปนเปื้อนในดิน วิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายสูงเพราะเกี่ยวข้องกับดินปริมาณมากที่จะต้องกำจัดและนำสารพิษหรือสารอันตรายไปกำจัด

2.8.3.3 การตรึงโลหะหนักไว้ในดิน (Stabilizing metals in the soil)

โลหะหนักสามารถกำจัดออกและลดปริมาณลงได้โดยการตรึงให้อยู่กับที่โดยใช้พวกชีวภาพในการกำจัด มีข้อดีมากกว่าการขุดเจาะให้เป็นทาง คือมีการเพิ่มสารเคมีลงไปในดิน ซึ่งจะไปจับตัวกับสารปนเปื้อนและจะอยู่ในรูปแร่ พืช สัตว์ และมนุษย์ไม่สามารถดูดซับได้ และไม่ทำให้สิ่งแวดล้อมถูกทำลายหรือเกิดสารอันตรายใหม่ขึ้นได้ ในทางกลับกัน ทำให้ความเป็นพิษลดน้อยลง โลหะหนักก็ยังอยู่ในดินแต่ความเป็นอันตรายลดลง เช่น เติมฟอสเฟตลงไปตรึงพวกตะกั่วไว้ ปฏิกิริยาเคมีระหว่างฟอสเฟตกับตะกั่วเรียกว่า Lead pyromorphite คล้ายแร่ซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ง่าย มีข้อดี 2 อย่าง คือ แร่ (โลหะหนัก) ไม่กระจายในน้ำหรือน้ำผิวดิน โลหะหนักฟอสเฟตเข้าไปในห่วงโซ่อาหารได้น้อย และใช้เวลาน้อยเหมือนกับการขุดเจาะเป็นทาง

2.8.3.4 การใช้พืช

การเจริญเติบโตของพืชช่วยลดโลหะหนักได้ เรียกว่า Phytoremediation มีข้อดีคือราคาถูก เป็นที่ยอมรับกันในบริเวณกว้าง ราคาค่าใช้จ่ายแค่หนึ่งในสี่ของการขุดเจาะเป็นทางหรือการตรึงโลหะหนัก แต่มีข้อเสียคือใช้เวลานาน พืชสามารถทำให้สารปนเปื้อนในดินไม่แพร่กระจายโดยเรียกว่า Photostabilization หรือพืชจะบังลม และป้องกันการกัดเซาะในการแพร่กระจายสารพิษ เช่น หญ้าหรือต้นไม้ลดการตกตะกอนจากการปนเปื้อนในหลาย ๆ ที่สามารถลดได้ถึง 18-25 เปอร์เซ็นต์ อีกทางหนึ่ง คือ พืชสามารถทำความสะอาดสารปนเปื้อนในดินโดยเรียกว่า Photostabilization พืชบางชนิดสามารถจับโลหะหนักเข้าไปในเนื้อเยื่อได้ พืชที่ปนเปื้อนก็สามารถกำจัดให้ปลอดภัยได้ บางทีการแก้ไขดินก็ควรเพิ่มความสามารถในการดูดซับโลหะหนักด้วย เช่น ใช้พวกต้นมัสตาร์ดอินเดียสกัดตะกั่วออกจากดินและลดปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วใน

บริเวณที่หลากหลาย พืชชนิดอื่นที่ใช้ก็คือ อัลฟาฟ่า กะหล่ำปลี ต้นสนและต้นป๊อบลาร์ อีกทางหนึ่งที่ใช้พืชในการบำบัดเรียกว่า Rhizofiltration ในวิธีนี้โลหะถูกกำจัดโดยตรงจากน้ำโดยรากของพืช พืชจะเติบโตในน้ำหรือในทรายที่มีน้ำมาก ส่วนมากจะกำจัดพวกโลหะกัมมันตรังสีโดยพืชที่ลอยอยู่ในน้ำ และพืชชนิดอื่นก็กำจัดโลหะหนักออกจากน้ำที่ระบายออกจากเหมืองแร่ ในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้พืชควรใช้วิธีกำจัดอย่างระมัดระวังเพราะมีสารพิษในปริมาณมาก

2.9 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชัน

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชันหรือปฏิกิริยารีดอกซ์ หมายถึง ปฏิกิริยาเคมีที่มีการให้และรับอิเล็คตรอน ซึ่งจะมีตัวออกซิไดซ์ คือ สารที่ทำให้เกิดออกซิเดชันขึ้น มีอะตอมที่เลขออกซิเดชันเปลี่ยนไปในทางลดลงหรือในแง่การถ่ายโอนอิเล็คตรอนก็เป็นสารที่รับอิเล็คตรอนไว้ ส่วนอีกตัวก็คือ ตัวรีดิวซ์ คือสารที่ทำให้เกิดรีดักชัน มีอะตอมที่เลขออกซิเดชันเปลี่ยนไปในทางที่เพิ่มขึ้นหรือเป็นสารที่ให้อิเล็คตรอนไป (สมการที่ 2.20 - 2.22)

$$Zn \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2e^- \quad \text{Oxidation reaction} \qquad (2.20)$$

$$Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu \quad \text{Reduction reaction} \qquad (2.21)$$

$$Zn + Cu^{2+} \rightleftharpoons Cu + Zn^{2+} \quad \text{Redox reaction} \qquad (2.22)$$

2.10 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)

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

การวิจัยนี้ได้นำวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น 6 ขั้น มาใช้แยกโลหะที่สนใจออกเป็นส่วนๆ ตามการใช้สารละลายสกัดที่มีความแรงเพิ่มขึ้น ตามลำดับ ปริมาณของโลหะที่ออกมาในแต่ละส่วนสามารถทำนายพฤติกรรมที่เป็นพิษของโลหะในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ การเคลื่อนที่ของโลหะหนักขึ้นกับ pH และการเกิดสารเชิงซ้อนกับลิแกนด์ ดังนั้น การสกัดแบบเป็นลำดับขั้นจึงมีความสำคัญในการศึกษาทางสิ่งแวดล้อม การสกัดที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณามาจากงานวิจัยหลายท่านซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ (รัตติกาล, 2542)

ขั้นที่ 1 : ส่วนที่ละลายน้ำได้ (Deionized H_2O, pH 7)

ปกตินำ้บริสุทธิ์จะไม่ใช่ตัวสกัดที่นิยมใช้ แต่มักใช้เป็นสารสกัดในส่วนแรก เพื่อพิจารณาว่าโลหะหนักที่อยู่ในตัวอย่างนั้น สามารถละลายน้ำได้หรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการดูผลกระทบของสิ่งแวดล้อม เช่น ความเป็นพิษของไอออนโลหะที่มีความสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้หลังจากเกิดนำ้ท่วม

ขั้นที่ 2 : ส่วนที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ (1.0 M NH_4OAc, pH 7)

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

ขั้นที่ 3 : ส่วนที่ละลายได้ในกรด (0.11 M CH_3COOH, pH 3)

คุณสมบัติของสารสกัดในส่วนนี้ ต้องสามารถละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับคาร์บอเนตได้ ซึ่งสารละลายอะซิเตตถูกนำมาใช้ โดยทำให้เป็นกรดที่ pH 3 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์โดยงานวิจัยนี้ได้นำกรดอะซิตริก 0.11 M pH 3 มาใช้ในการสกัด โดยใช้อัตราส่วน สารตัวอย่างต่อสารสกัด เท่ากับ 1 : 25

ขั้นที่ 4 : ส่วนที่ถูกรีดิวซ์ได้ (0.1M $NH_2OH.HCl$ in CH_3COOH 25% v/v pH 2)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การผสมของ Reducing agent และกรด ซึ่งปกติใช้สกัดโลหะในปริมาณน้อยที่ยึดเกาะอยู่กับ Fe_2O_3 หรือ Mn_2O_3 ในดินและตะกอน ซึ่งรูปของออกไซด์นี้เรียกว่า Reducing phase โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง Amorphous และ Crystalline โดยปกตินิยมใช้ $NH_2OH.HCl$ ใน CH_3COOH 25% v/v กันมาก ในส่วนนี้ ค่า pH ที่ใช้จะต้องปรับให้มีค่าน้อยกว่า 3 เพื่อจะเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ของ Reducing agent นอกจากนี้ Tessier และคณะ (ค.ศ. 1979) ยังได้รายงานไว้อีกว่า HOAc-$NH_2OH.HCl$ ไม่สามารถรีดิวซ์สารอินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่างตะกอนได้ แต่มีความเฉพาะเจาะจงกับพวกโลหะออกไซด์ ดังนั้น ชนิดของสารสกัดนี้ควรมีเฉพาะเจาะจงกับโลหะออกไซด์และละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับโลหะด้วยพันธะที่แข็งแรง ซึ่งในส่วนนี้ปกติจะนิยมใช้ Hydroxylamine hydrochloride ใน Acetic acid เป็นสารสกัด

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

การสกัดโลหะในดินและตะกอนที่เชื่อมอยู่กับสารอินทรีย์หลายแบบ เช่น การดูดซับ การเกิดสารเชิงซ้อน และการเกิดคีเลตภายใต้การสกัดเป็นลำดับ จะมีสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ เพื่อใช้ละลายสารอินทรีย์หรือสารที่สามารถจะถูกออกซิไดซ์ได้ เช่น ออกไซด์และซัลไฟด์ของโลหะบางตัว ซึ่งทำให้ได้โลหะที่ละลายออกมาจากการสกัด นิยมนำ H_2O_2 ที่ทำให้มีสภาพเป็นกรด มาใช้เป็นสารสกัดมากในส่วนนี้

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

หลังจากที่สกัดเอาบางส่วนออกไปแล้ว ของแข็งที่เหลือส่วนใหญ่จะเป็นแร่ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ในส่วนนี้จึงใช้สารสกัดที่มีความเป็นกรดแรง เพื่อละลายซิลิเกต และส่วนที่เหลืออื่น ๆ ที่ไม่สามารถสกัดออกมาได้ด้วยสารสกัดที่มีความแรงอ่อน โดยปกติจะนำการผสมกันของกรดที่ร้อนมาใช้เพื่อย่อยส่วนที่เหลือให้เป็นสารละลายใส

2.11 การตกตะกอนโลหะหนักด้วยไฮดรอกไซด์ ซัลไฟด์ และคาร์บอเนต

การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีเป็นทางเลือกหนึ่งที่นิยมใช้ในปัจจุบัน สิ่งที่สำคัญสำหรับการกำจัดโลหะหนักด้วยการตกตะกอน คือ การศึกษาความสามารถในการตกตะกอนของโลหะแต่ละชนิดเพื่อจะทำให้กาตกตะกอนเกิดได้ดีที่สุดและกำจัดออกได้ต่อไป ในการกำจัดโลหะหนักด้วยการตกตะกอนทางเคมีนั้น สารเคมีที่นิยมใช้ คือ ไฮดรอกไซด์ ซัลไฟด์ และคาร์บอเนต กลไกการเกิดปฏิกิริยาของแต่ละวิธีเกิดขึ้นกับประจุบวกของโลหะ กับ OH^- , S^{2-} และ CO_3^{2-} ตามลำดับ ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ โลหะซัลไฟต์ และโลหะคาร์บอเนต ดังสมการที่ 2.23 -2.25

$$M^{2+} + 2\,OH^- \rightleftharpoons M(OH)_2 \qquad (2.23)$$

$$M^{2+} + S^{2-} \rightleftharpoons MS \qquad (2.24)$$

$$M^{2+} + CO_3^{2-} \rightleftharpoons MCO_3 \qquad (2.25)$$

2.11.1 การตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ (Hydroxide precipitation)

ในการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ ไอออนของโลหะหนักที่ละลายน้ำจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ (Metal-hydroxide) โดยการเติมสารเคมีที่ช่วยทำให้เกิดการตกตะกอน (Alkali-precipitating agent) โดยส่วนใหญ่ใช้สารเคมีและมีปฏิกิริยาดังสมการ 2.26 – 2.28

- โซดาไฟ (Caustic soda ; NaOH)

$$M^{2+} + 2NaOH \rightleftharpoons M(OH)_2(s) + 2Na^+ \qquad (2.26)$$

- ปูนขาว (Hydrate lime ; $Ca(OH)_2$)

$$M^{2+} + Ca(OH)_2 \rightleftharpoons M(OH)_2(s) + Ca^{2+} \qquad (2.27)$$

- แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Magnesium hydroxide ; $Mg(OH)_2$)

$$M^{2+} + Mg(OH)_2 \rightleftharpoons M(OH)_2(s) + Mg^{2+} \qquad (2.28)$$

ส่วนกลไกของการตกตะกอนโดยใช้ไฮดรอกไซด์นั้น ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ของน้ำ สารเคมีที่ใช้ทำให้ตกตะกอน ค่าความสามารถในการละลายของโลหะที่ตกตะกอนจะมีค่าต่ำที่สุดค่าหนึ่งที่ช่วงพีเอชแคบ ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

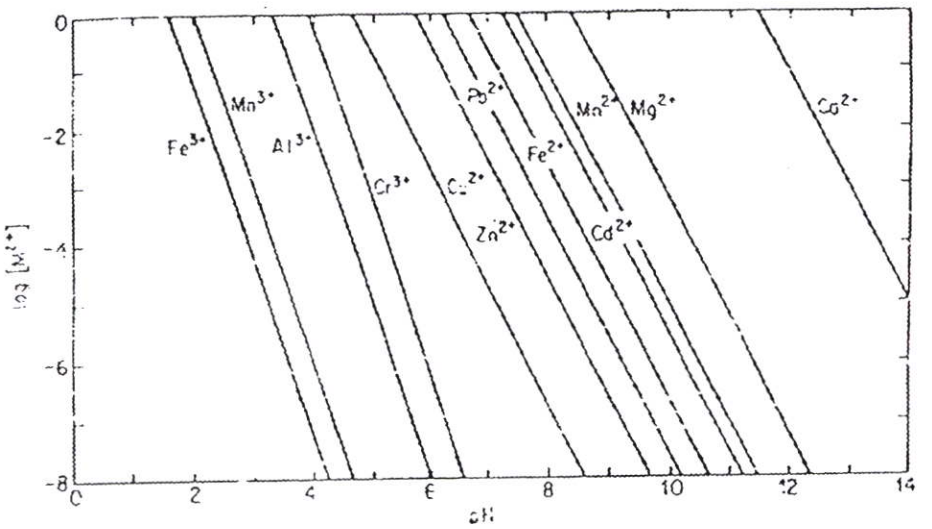
ข้อดีของการตกตะกอนโลหะหนักด้วยไฮดรอกไซด์ คือ เป็นวิธีที่ง่ายมีการใช้กันอย่างแพร่หลายและมีราคาถูก นอกจากนี้ ยังสามารถลดสารอื่น ๆ ที่มีอยู่ในน้ำบางชนิด เช่น สารจำพวกสบู่ (soaps) และฟลูโอไรด์ เป็นต้น ส่วนข้อเสียของการตกตะกอนโลหะหนักด้วยไฮดรอกไซด์ คือ ไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพไม่ดีในการกำจัดโลหะบางชนิด เช่น ตะกั่ว แมงกานีส และเงิน เป็นต้น ในขณะที่โละบางชนิดต้องการกระบวนการรีดักชัน คือ โครเมียม +6 ต้องทำให้เป็นโครเมียม +3 เช่นเดียวกับเซเรเนียม+6 เป็นเซเรเนียม +4 ส่วนโลหะที่ต้องการออกซิเดชันก่อน คือ อาร์เซนิค +3 ต้องทำให้เป็นอาร์เซนิค +5 เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของสารประกอบไฮดรอกไซด์ทั้งสามชนิดที่ใช้ตกตะกอนโลหะหนัก (Robert Clear, 1999)

Property	NaOH	$Ca(OH)_2$	$Mg(OH)_2$
Molecular weight	40	74.1	58.3
Hydroxide content (%)	42.5	45.9	58.3
Heat of solution (kg-cal/mole)	9.94	2.79	0.0
Solubility (g/100 ml H_2O)	42.0[a]	0.185[a]	0.0009[b]
Reactive pH maximum	14.0	12.5	9.0
Weight equivalency	1.47	1.27	1.0
Freezing Point	16.0	0.0[c]	0.0[d]
Solid content of sludge (%)[e]	30.0	35.0	55.0
Sludge density (kg/m^3)	1300	1400	1600-1750
Filtration time (hr)	7-8	7-9	1.5-2.0
Sludge volume m^3/metricton	5.0	4.2	2.2

[a] Temperature, °C [b] Temperature, 18 [c] 30% slurry [d] 40% slurry

[e] Sludge from a plate and frame filter press.



รูปที่ 2.3 การตกตะกอนของโลหะหนักด้วยไฮดรอกไซด์แสดงในรูปค่าความเข้มข้น (Sawyer *et al.*, 1994)

ข้อดีและข้อเสียของการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์

ข้อดี :

- ควบคุมแค่ค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม
- เป็นที่ยอมรับและใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป
- มีขั้นตอนในกระบวนการกำจัดไม่ซับซ้อน
- มีค่าใช้จ่ายต่ำ

ข้อเสีย :

- ตะกอนมีแนวโน้มที่จะละลายกลับเมื่อค่าพีเอชเปลี่ยนแปลง
- ในการตกตะกอนน้ำเสียที่มีโลหะหลายชนิดจะมีประสิทธิภาพไม่ดีเพราะโลหะแต่ละชนิดตกตะกอนได้ดีที่สุดที่พีเอชต่างกัน
- การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนเป็นผลเสียต่อการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์
- โครเมียม +6 ไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีนี้
- ไซยาไนด์เป็นตัวรบกวนในการตกตะกอนโลหะหนัก
- ตะกอนของไฮดรอกไซด์สามารถแยกออกจากน้ำได้ยาก เพราะมีโครงสร้างของตะกอนที่เบา
- ไฮดรอกไซด์ไม่สามารถใช้ตกตะกอนได้ที่พีเอชต่ำกว่า 6

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นัทชธีร์ญา (2545) ได้ศึกษาการล้างดินและกากตะกอนที่ปนเปื้อนแคดมียม ทำการชะแบบครั้งและแบบคอลัมน์ โดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.01 M และโซเดียมอีดีทีเอ 0.01 M โดยในการทดลองพบว่า ในการชะแบบครั้งเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการชะล้างมากที่สุด โดยดินที่มีเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูง โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอยู่ในช่วง 67.83-97.30 เปอร์เซ็นต์ และการชะแบบคอลัมน์ เปอร์เซ็นต์ซิลท์เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการชะล้างมากที่สุด โดยดินที่มีเปอร์เซ็นต์ซิลท์ต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูง มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอยู่ในช่วง 22.52-35.49 เปอร์เซ็นต์

Tunay และ Kabdali (1994) ได้ศึกษาการบำบัดโลหะหนักที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน ด้วยวิธีการตกตะกอนโดยใช้ไฮดรอกไซด์ ในการศึกษานี้มุ่งที่จะประเมินกลไกต่างๆ ของพันธะที่เกิดขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถอธิบายถึงการกำจัดโลหะหนักในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนได้ ในการทดลองนี้ใช้โลหะหนัก คือ แคดเมียม ทองแดง และนิกเกิล สารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่รวมตัวกับโลหะ ได้แก่ EDTA NTA และกรดซัคซินิค โดยมีแคลเซียมเป็นตัวเชื่อมพันธะ ผลการศึกษาพบว่าที่ค่าพีเอชสูง การตกตะกอนของโลหะหนักจะเกิดขึ้นโดยเริ่มจากสารประกอบเชิงซ้อนอินทรีย์ที่จับกับโลหะหนักจะจับตัวกับแคลเซียม ทำให้เกิดโลหะหนักอิสระขึ้น โลหะนี้ก็จะจับตัวกับไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนทำให้สามารถกำจัดออกจากน้ำได้

Papassiopi *et al.* (1999) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการชะของ EDTA ที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักจากดินชนิด Calcareous โดยศึกษาเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของสารคีเลตติงค์เอเจนต์ทั้งสอง (Na_2-EDTA และ Na_4-EDTA) ที่นำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก (Pb, Zn, Cd และAs) ที่ปนเปื้อนในดินตัวอย่าง 7 ชนิด ทำการชะ 2 ครั้ง โดยให้ความเข้มข้นที่ใช้ในการชะแตกต่างกันไป จากการศึกษาพบว่า Na_4-EDTA มีประสิทธิภาพในการสกัดน้อยกว่า Na_2-EDTA

Sun *et. al.* (2001) ได้ศึกษาถึงการชะโลหะหนัก (Zn, Cd, Cu, Pb) ออกจากดินปนเปื้อนโดยใช้ EDTA ทำการทดลองแบบครั้งและแบบคอลัมน์ ในการทดลองแบบครั้ง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดมีค่าน้อยลง เนื่องจากการรบกวนจากโลหะชนิดอื่นที่อยู่ในดิน ส่วนวิธีชะผ่านคอลัมน์ พบว่า Pb เคลื่อนที่ได้น้อยที่สุดจากโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด โดย Cu สามารถเคลื่อนที่ได้ดีที่สุด รองมาคือ Zn และ Cd ตามลำดับ จากวิธีการชะทั้งสองแบบ ทำให้ทราบถึงลักษณะของโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกกำจัด

Irene และ Yang (1999) ได้ศึกษาการสกัดโลหะที่ปนเปื้อนในส่วนต่าง ๆ ของดินปนเปื้อนจริงและกากตะกอนสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ คาร์บอเนต ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสอินทรียวัตถุ และรูปของแร่ดินเหนียว ด้วย EDTA โดยศึกษาถึงผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดและความเข้มข้นของ EDTA ที่ใช้ พบว่า การสกัดจะเข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็วหลังจากสกัดเป็นเวลา

ประมาณ 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 ของโลหะที่ถูกกำจัดออก จะถูกกำจัดโดย EDTA เข้มข้น 0.10 M การใช้ EDTA สกัดตะกั่วที่ปนเปื้อนในส่วนของคาร์บอเนต อาจได้รับผลกระทบจากการเกิดเป็นสารประกอบตะกั่วคาร์บอเนต เพื่อให้ผลของการทดลองมีค่ายอมรับได้สูงจึงควรทำการสกัดโดยใช้ EDTA เข้มข้น 0.10 M

Garrabrants และ Kosson (2000) ได้ศึกษาถึงการใช้คีเลตติงค์ (EDTA) ซึ่งเป็นสารที่สามารถชะล้างโลหะออกจากดินที่มีการปนเปื้อน การทดลองนี้ทำการทดลองแบบครั้ง (Batch) จะมีการควบคุม pH โดยจะใช้ความเข้มข้นของ EDTA 50 mM ตามอัตราส่วนสารละลายต่อของแข็งเป็น 100 มิลลิลิตร/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

Voegelin *et.al* (2003) ได้ศึกษาถึงการหลุดออกของโลหะหนักที่จับอยู่ในดิน โดยใช้วิธี Column leaching และ Batch extraction โลหะหนักที่สนใจคือ Zn, Cd, Pb และ Cu ดินที่ใส่ลงคอลัมน์ต้องเป็นดินที่มีคุณลักษณะเหมือนกัน ซึ่งถูกชะด้วย $CaCl_2$ 67 มิลลิลิตร/กรัม 0.01 M หลังจากนั้นจะใช้ $CaCl_2$ 1400 มิลลิลิตร/กรัม 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 โดยเกิดการแลกเปลี่ยนประจุของโลหะกับดิน ซึ่ง Ca สามารถแลกเปลี่ยนได้เมื่ออยู่ที่สภาวะเป็นกรด (pH 3) ทำให้สามารถกำจัดโลหะ Zn, Cd, Pb และ Cu จากดินที่มีการปนเปื้อนได้ระหว่าง 65 ถึง 90 %

Abumaizar และ Smith (1999) ศึกษาการกำจัดโลหะ Cd , Cr , Zn และ Pb ออกจากดินร่วนปนทราย (Silty sand) ด้วยการชะแบบคอลัมน์และแบบครั้ง ด้วยสารละลาย Na_2EDTA $Na_2S_2O_5$ และสารละลายผสมระหว่าง Na_2EDTA กับ $Na_2S_2O_5$ โดยในการทดลอง พบว่าการชะทั้งแบบครั้งและแบบคอลัมน์ จะสามารถชะในสภาวะที่เป็นกลาง Cd ออกมาได้ถึง 70 % ตามมาด้วย Zn 25-30 % , Cr 20-25 % และ Pb ได้แค่ 10 % เท่านั้น โดยทั่วไปแล้ว การชะด้วย Na_2EDTA จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าใช้ $Na_2S_2O_5$ และจะมีผลต่อการกำจัด Cr บ้างเล็กน้อย แต่ถ้าทำการผสม Na_2EDTA กับ $Na_2S_2O_5$ ที่ความเข้มข้น 0.01 M และ 0.1M ตามลำดับ แล้วทำการสกัดแบบครั้ง ที่อัตราส่วนของดินต่อสารละลาย เท่ากับ 1:5 และ 1:12.5 จะพบว่าประสิทธิภาพในการสกัดจะสูงกว่าแบบการใช้สารละลายเดี่ยว ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะ Zn และ Cd ซึ่งหากทำการเปรียบเทียบที่อัตราส่วน 1:12.5 กับ 1:5 จะพบว่าที่อัตราส่วน 1:12.5 มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงกว่าการใช้อัตราส่วน 1:5 โดยสามารถชะ Cd ได้ 92.3±5.1% และ 101.9±4.9% ตามลำดับ ส่วนการทดลอง

แบบคอลัมน์ก็ทำการชะโลหะออกมาได้ดี พบว่าสามารถชะโลหะ Cd ได้ถึง 80% ซึ่งหากทำการเปรียบเทียบการชะแบบคอลัมน์กับแบบครั้ง พบว่าการชะทั้งแบบครั้งและแบบคอลัมน์มีประสิทธิภาพดี และเหมาะสมต่อการนำไปใช้

Zeng *et al.* (2005) ได้ศึกษาการนำสารละลายอีดีทีเอที่ใช้กำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้ Na_2S ร่วมกับ $Ca(OH)_2$ ทำการตกตะกอนโลหะหนักเพื่อนำสารละลายอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ ได้เปรียบเทียบระหว่างสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกับแคลเซียมอีดีทีเอ จากผลการศึกษาพบว่า สารละลาย Na_2S สามารถตกตะกอนโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ออกจากสารละลายอีดีทีเอได้ แต่ถ้าเป็นสังกะสี ต้องเติมสารละลาย $Ca(OH)_2$ ลงไปด้วยเพื่อช่วยให้ตกตะกอนได้ง่ายขึ้น และระหว่างโซเดียมอีดีทีเอกับแคลเซียมอีดีทีเอ นั้นต่างเป็นคีเลตติง เอเจนต์ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินได้คล้ายกัน แต่แคลเซียมอีดีทีเอสามารถรักษาอินทรียวัตถุในดินได้ดีกว่าโซเดียมอีดีทีเอ

Abumaizar และ Khan (1996) ทำการศึกษาอิทธิพลของสารอินทรีย์ในดิน 2 ชนิด คือ ตะกอนจากบ่อบำบัด (Millpond sludge) และดินเหนียวปนดินร่วน (Silty clay) โดยทำการชะตะกั่วและสังกะสีด้วยวิธีแบบคอลัมน์ที่มีทรายผสมในอัตราส่วน 1:1 โดยดินเหนียวปนร่วนจะใช้น้ำประปาล้างก่อน จากนั้นชะต่อด้วย $Na_2S_2O_5$ อีก 3 ครั้ง พบว่ามีตะกั่วและสังกะสีออกมา 1.3% ในขั้นที่ชะด้วยน้ำประปา ส่วนในขั้นที่ชะด้วย $Na_2S_2O_5$ ตะกั่วที่ชะได้มีค่าเท่ากับ 61% และสังกะสีเท่ากับ 94% ตามลำดับ ส่วนตะกอนที่ได้จากระบบบำบัด จะทำการชะด้วยน้ำประปา $Na_2S_2O_5$ และ EDTA ตามลำดับ พบว่าน้ำประปาไม่สามารถชะตะกั่วและสังกะสีออกมาได้ ส่วน $Na_2S_2O_5$ สามารถชะตะกั่วออกมาได้ 48% และสังกะสี 75% และสารละลาย EDTA สามารถชะตะกั่วได้ 70.4 % และสังกะสีได้ 92.7 % พบว่า ความสามารถในการชะของ EDTA จะมีประสิทธิภาพดีกว่า $Na_2S_2O_5$ และ $Na_2S_2O_5$ ที่ใช้ชะในดินที่มีสารอินทรีย์ต่ำ ได้แก่ Silty clay จะสามารถชะตะกั่วและสังกะสีได้สูงกว่า ในดินที่มีสารอินทรีย์สูง ได้แก่ Milpond sludge

Elliott and Brown (1989) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการสกัด Pb ที่ปนเปื้อนในดิน ด้วย Nitrilotriacetic acid (NTA) เปรียบเทียบกับ Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) ดินที่นำมาวิเคราะห์มาจากบริเวณโรงงานทำแบตเตอรี่ 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 นั้นเป็นสารที่มีค่าความจำกัดในการชะล้างดิน จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ของ NTA น้อยกว่า EDTA

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 รุ่น 250,ประเทศอังกฤษ

3.1.1.3 เครื่องอะตอมมิคแอปซอฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่นAA-680

3.1.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ Precisa รุ่น 205A

3.1.1.5 เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ ยี่ห้อ Bruker axs รุ่น SRS 3400

3.1.1.6 เครื่องออโตซอร์ป-1 ยี่ห้อ Quanta Chrome รุ่น QC601

3.1.1.7 ตะแกรงร่อนขนาด 12 เมช

3.1.1.8 เครื่องเขย่าแนวนอน (Horizental shaker) ยี่ห้อ Julabo รุ่น SW1

3.1.1.9 เครื่องปั่นเหวี่ยงพร้อมหลอด ยี่ห้อ Sanyo รุ่น CENTAUR 2

3.1.1.10 ปั๊ม ยี่ห้อ Watson – Marlon Bredel รุ่น 101 U/R

3.1.1.11 เครื่องกรองระบบสุญญากาศ ยี่ห้อ Buchi B-169 vaccum-system

3.1.1.12 เครื่องย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ (Microwave digester) ยี่ห้อ Minestone รุ่น Maga 202

3.1.1.13 แท่นให้ความร้อน

3.1.1.14 กระดาษกรองขนาด 0.45 และ 1 ไมโครเมตร

3.1.1.15 ขวดพลาสติกใส่สารตัวอย่าง ขนาด 60 และ 100 มิลลิลิตร

3.1.1.16 คอลัมน์พลาสติก ความยาว 7 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร

3.1.2 สารเคมี

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

3.1.2.2 โซเดียมเมตตะไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) 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 อะซิติก (CH_3COOH) 100% w/w A.R.Grade (บริษัท BDH Laboratory, England)

3.1.2.4 ไฮดรอกไซลามีนไฮโดรคลอไรด์ ($NH_2OH{\cdot}HCl$) 99% w/w Commercial Grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

3.1.2.5 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 30% w/w 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 ไฮโดรเจนฟลูออร์ไรด์ (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 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) 50% w/w Commercial Grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

3.1.2.11 สารละลายมาตรฐานโลหะหนัก 4 ตัว คือ Cu, Fe, Mn และ Pb

3.2 แหล่งที่มาของดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบครั้ง ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. (ดินส่วนใหญ่เป็นดินที่ถูกถมไม่ใช้ดินเดิมจึงทำการเก็บที่ระดับความลึกนี้) 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 ดินในบริเวณที่เก็บของเก่า จาก แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง จังหวัด กรุงเทพมหานคร

3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

นำตัวอย่างดินที่แห้งแล้วมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12 เมช แล้วนำไปเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

พารามิเตอร์	วิธี/เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์
พีเอช	เครื่องวัดพีเอช
ความเป็นกรดของดิน	วิธีอิ่มตัวด้วยแบเรียมคลอไรด์
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	วิธีทำให้อิ่มตัวด้วยแอมโมเนีย
ปริมาณอินทรีย์สาร	วิธีการออกซิเดชั่นแบบเปียก
ปริมาณความชื้น	วิธีกราวิเมตริก

ตารางที่ 3.1(ต่อ)

พารามิเตอร์	วิธี/เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์
การกระจายตัวของอนุภาค (ปริมาณทราย ซิลท์ และเคลย์)	เครื่องมือไฮโดรมิเตอร์
ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์	เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์
ปริมาณเหล็กออกไซด์	เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์
ปริมาณแมงกานีสออกไซด์	เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์
ความเข้มข้นของโลหะหนัก	เครื่องย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ และเครื่องอะตอมมิคแอปซอฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะออกจากดินโดยใช้สารละลายอีดีทีเอและสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

3.4.1 การชะล้างโลหะหนักออกจากดินแบบครั้ง

3.4.1.1 การหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ

1. ใส่ตัวอย่างดินแห้งจำนวน 2 กรัม ในขวดพลาสติกขนาด 120 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย 0.01 M Na_2EDTA (อัตราส่วนของดิน (กรัม) : สารละลาย (มิลลิลิตร) = 1:30)

2. นำไปเขย่าที่ 175 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ด้วยเครื่องเขย่าแนวนอน

3. ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร ด้วยเครื่องกรองระบบสุญญากาศ

4. วัดพีเอชของสารละลายที่กรองได้ แล้วปรับพีเอชให้น้อยกว่า 2 ด้วย 1:1 HNO_3

5. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS พร้อมทั้งคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โลหะชนิดต่างๆ ที่ถูกกำจัด

6. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย เป็น 0.05 M, 0.10 M, 0.15 M และ 0.25 M ตามลำดับ

7. ทำการทดลองเหมือนเดิมเปลี่ยนจากสารละลาย Na_2EDTA เป็นสารผสมระหว่าง Na_2EDTA และ $Na_2S_2O_5$ โดยแปรผันค่าสัดส่วนความเข้มข้น ดังแสดงในตารางที่ 3.2

8. ทำคอนโทรลโดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวสกัดแทนสารละลาย

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมอีดีทีเอ

หมายเลขของสารละลาย	สัดส่วนความเข้มข้น
1	0.01 M Na_2EDTA + 0.01 M $Na_2S_2O_5$
2	0.01 M Na_2EDTA + 0.10 M $Na_2S_2O_5$
3	0.01 M Na_2EDTA + 0.25 M $Na_2S_2O_5$
4	0.05 M Na_2EDTA + 0.01 M $Na_2S_2O_5$
5	0.05 M Na_2EDTA + 0.10 M $Na_2S_2O_5$
6	0.05 M Na_2EDTA + 0.25 M $Na_2S_2O_5$
7	0.10 M Na_2EDTA + 0.01 M $Na_2S_2O_5$
8	0.10 M Na_2EDTA + 0.10 M $Na_2S_2O_5$
9	0.10 M Na_2EDTA + 0.25 M $Na_2S_2O_5$
10	0.15 M Na_2EDTA + 0.01 M $Na_2S_2O_5$
11	0.15 M Na_2EDTA + 0.10 M $Na_2S_2O_5$
12	0.15 M Na_2EDTA + 0.25 M $Na_2S_2O_5$

3.4.1.2 การหาค่าอัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ

1. ใส่ตัวอย่างดินแห้งจำนวน 2 กรัม ในขวดพลาสติกขนาด 120 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย Na_2EDTA 60 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นเหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.1.1

2. นำไปเขย่าที่ 175 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ด้วยเครื่องเขย่าแนวนอน

3. ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร ด้วยเครื่องกรองระบบสุญญากาศ

4. วัดพีเอชของสารละลายที่กรองได้ แล้วปรับพีเอชให้น้อยกว่า 2 ด้วย 1:1 HNO_3

5. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS พร้อมทั้งคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โลหะชนิดต่างๆ ที่ถูกกำจัด

6. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนของดินต่อสารละลาย เป็น 1:5, 1:10, 1:15และ 1:20 ตามลำดับ

7. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1-6 แต่เปลี่ยนจากสารละลาย Na_2EDTA เป็นสารผสมระหว่าง Na_2EDTA และ $Na_2S_2O_5$

8. ทำคอนโทรลโดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวสกัดแทนสารละลาย

3.4.2 การชะล้างโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์

นำดินหนัก 10 กรัม บรรจุลงในคอลัมน์พลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ยาว 7 เซนติเมตร โดยส่วนบนและส่วนล่างของคอลัมน์บรรจุสำลี ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เมื่อบรรจุตัวอย่างลงในคอลัมน์เรียบร้อยแล้ว ทำการทดลองดังนี้

1. เทสารละลาย Na_2EDTA ปริมาตร 300 มิลลิลิตรในบีกเกอร์พลาสติก ผ่านสารละลายเข้าคอลัมน์โดยการพาไปของปั๊มด้วยอัตราการไหล 1.2 ± 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที

2. เก็บตัวอย่างครั้งละ 5 มิลลิลิตร ในช่วง 50 มิลลิลิตร แรก หลังจากนั้นจึงเก็บครั้งละ 5 มิลลิลิตร จนปริมาตรครบ 300 มิลลิลิตร

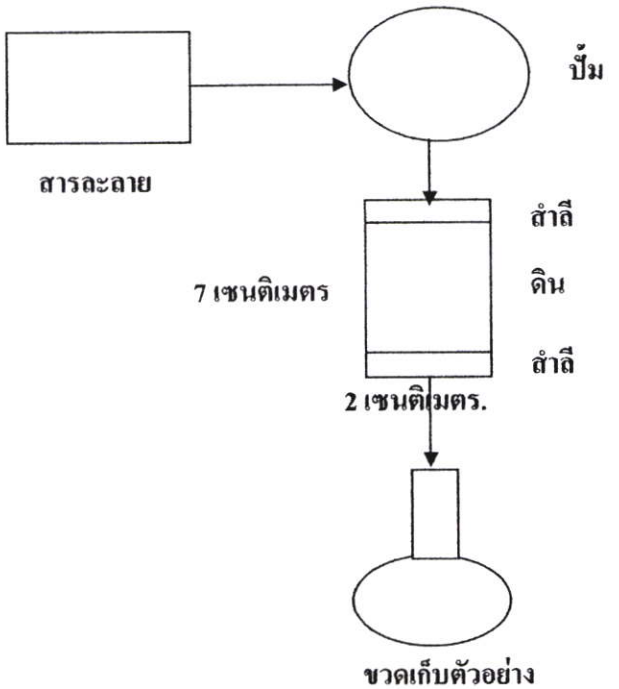
3. วัดพีเอชของสารละลายที่ได้ แล้วปรับพีเอชให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ด้วย 1:1 HNO_3

4. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS พร้อมทั้งคำนวณหา % โลหะชนิดต่างๆ ที่ถูกกำจัด

5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนชนิดของดินอย่าง

6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนจากสารละลาย Na_2EDTA เป็นสารผสมระหว่าง Na_2EDTA และ $Na_2S_2O_5$

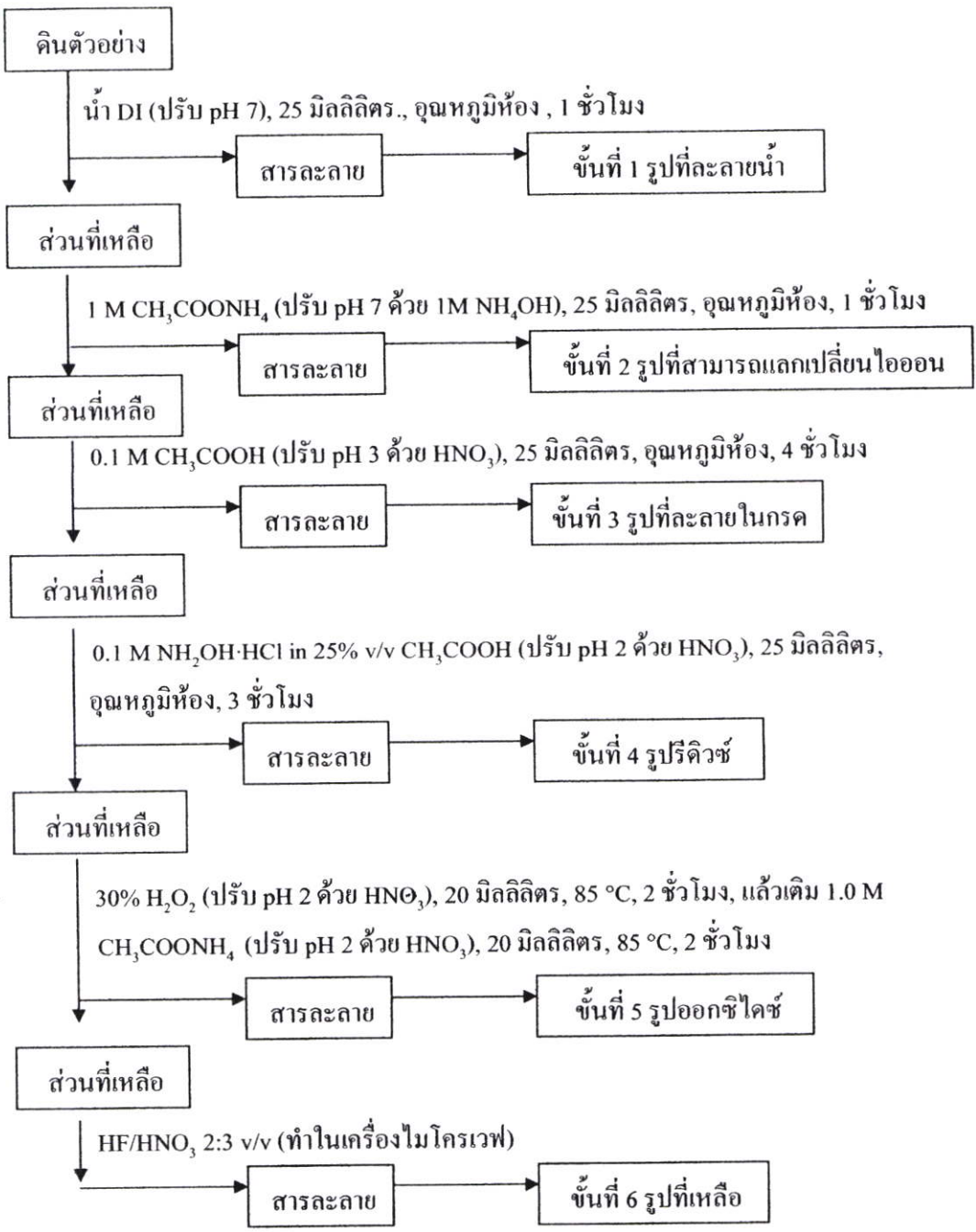
7. ทำคอนโทรลโดยใช้น้ำปราศจากไอออนแทนสารละลาย



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการล้างโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์

3.5 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)

นำตัวอย่างดินทั้งก่อนล้างและหลังล้าง (ใช้ตัวอย่างที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักสูงที่สุดเท่านั้น) มาทำการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นเพื่อศึกษาสัดส่วนของโลหะรูปแบบต่าง ๆ ในดิน ซึ่งลำดับการสกัด แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสกัดโลหะในรูปต่าง ๆ ออกจากดินแบบเป็นลำดับขั้น

3.6 การนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่

มีขั้นตอนการทำดังนี้

1. ใส่ตัวอย่างดินแห้งจำนวน 3 กรัม ในขวดพลาสติกขนาด 200 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย Na_2EDTA โดยใช้ความเข้มข้น และอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.1.1 และ 3.4.1.2
2. นำไปเขย่าที่ 175 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ด้วยเครื่องเขย่าแนวนอน
3. ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร ด้วยเครื่องกรองระบบสุญญากาศ
4. วัดพีเอชของสารละลายที่กรองได้
5. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS พร้อมทั้งคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะชนิดต่าง ๆ
6. นำสารละลายจากข้อ 5 มาเติมสารละลาย $Ca(OH)_2$ 50% w/w จนสารละลายมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 11 - 12
7. ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร ด้วยเครื่องกรองระบบสุญญากาศ นำส่วนใสไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS พร้อมทั้งคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โลหะชนิดต่างๆที่ถูกกำจัด
8. ปรับพีเอชของสารละลายให้เท่ากับสารละลายเริ่มต้นด้วยกรดไนตริก
9. นำสารละลายจากข้อ 7 มาเขย่ากับดินใหม่อีกครั้ง โดยทำตามขั้นตอนข้อ 1-8
10. ทำการทดลองตามขั้นตอนข้อ 1-9 จนปริมาณโลหะหนักมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน
11. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1-10 แล้วเปลี่ยนตัวอย่างดินและสารละลาย Na_2EDTA เป็นสารผสมระหว่าง Na_2EDTA และ $Na_2S_2O_5$
12. ทำคอนโทรลโดยใช้น้ำปราศจากไอออนแทนสารละลาย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

จากการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินทั้ง 4 แหล่ง ได้แก่ ดินจากบริเวณอู่รถ (1) ดินจากบริเวณอู่รถ (2) ดินจากบริเวณกองขยะ และดินจากบริเวณที่เก็บของเก่า ผลการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 4.1 และภาคผนวก ง

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

คุณสมบัติของดิน		ตัวอย่างดิน			
		ดินอู่รถ (1)	ดินอู่รถ (2)	ดินกองขยะ	ดินบริเวณที่เก็บของเก่า
พีเอช(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
ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออน (CEC) (meq/100g)		1.30 ± 0.16	2.08 ± 0.47	3.91 ± 0.44	1.83 ± 0.30
% ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (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	% ทราย	81.25	82.50	78.75	88.75
	% ซิลท์	12.50	8.75	8.75	7.50
	% เคลย์	6.25	8.75	12.5	3.75
ลักษณะเนื้อดิน		ดินทรายร่วน (Loamy sand)	ดินทรายร่วน (Loamy sand)	ดินร่วนปนทราย(Sandy loam)	ดินทรายร่วน (Loamy sand)
% อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)		13.83 ± 0.31	15.73 ± 0.15	21.47 ± 0.25	9.47 ± 0.05
% แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2)		0.68 ± 0.01	0.31 ± 0.02	0.31 ± 0.01	0.25 ± 0.01
% เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3)		41.02 ± 1.87	8.80 ± 0.23	9.25 ± 0.08	36.15 ± 0.78

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ชนิดโลหะหนัก	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (mg/kg)			
	ดินอู่รถ (1)	ดินอู่รถ (2)	ดินกองขยะ	ดินบริเวณที่เก็บของเก่า
ทองแดง (Cu)	406.46 ± 51.11	115.23 ± 15.35	205.13 ± 38.55	2,051.28 ± 190.96
เหล็ก (Fe)	34,802.05 ± 327.75	16,284.37 ± 720.65	22,947.90 ± 774.01	33,637.32 ± 28.53
แมงกานีส (Mn)	2,062.51 ± 476.02	418.56 ± 50.48	724.22 ± 58.61	696.68 ± 33.39
ตะกั่ว (Pb)	121.08 ± 12.72	293.40 ± 37.10	298.34 ± 69.05	527.52 ± 34.33

4.1.1 ดินจากบริเวณอู่รถ (1)

ลักษณะของเนื้อดินเป็นดินทรายร่วน เนื้อหยาบ มีการระบายน้ำได้บ้าง จึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินดี และการดูดซับธาตุของดินมีค่าต่ำ ดังนั้นค่าปริมาณสารอินทรีย์และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) จึงมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างดินอื่น ๆ ซึ่งประจุบวกในดินที่แลกเปลี่ยน ได้แก่ Na^+, K^+, H^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} และ Al^{3+} (นัทชธีร์ญา, 2545 อ้างจาก Hillel, 1998) โดยพิจารณาความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้จากเปอร์เซ็นต์ของ Al_2O_3, Fe_2O_3 และ MnO_2 ที่อยู่ในดินพบว่า Fe_2O_3 มีปริมาณที่มากที่สุดในดินชนิดนี้ คือเท่ากับ 41.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูง ค่าพีเอชมีค่าเป็นกลางเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ไม่มากนักทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ และมีปริมาณเหล็กมากที่สุด รองลงมา คือ แมงกานีส ทองแดง และตะกั่ว ตามลำดับ

4.1.2 ดินจากบริเวณอู่รถ (2)

ลักษณะเนื้อดินเป็นดินทรายร่วน สีดินมีสีน้ำตาลปนเทา เนื้อหยาบ มีความคล้ายกับลักษณะดินบริเวณอู่รถ (1) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่า CEC จะมีค่าสูงกว่าดินจากบริเวณอู่รถ (1) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่ดินอู่รถ (2) นั้นมีเปอร์เซ็นต์เคลย์ที่สูงกว่าดินจากบริเวณอู่รถ (1) ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์และค่า CEC ที่ได้สูงกว่าดินจากบริเวณอู่รถ (1) อีกทั้งเปอร์เซ็นต์ของ Al_2O_3 มีปริมาณสูงกว่าจึงทำให้ค่า CEC ในดินชนิดนี้มีค่าที่สูงตามไปด้วย และมีปริมาณเหล็กมากที่สุด รองลงมา คือ แมงกานีส ตะกั่ว และทองแดง ตามลำดับ

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 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่าดินชนิดอื่น ส่งผลให้ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่ามากกว่าดินชนิดอื่นด้วย คือมีค่าเท่ากับ 3.91 meq/100 g และมีปริมาณเหล็กมากที่สุด รองลงมา คือ แมงกานีส ทองแดง และตะกั่ว ตามลำดับ

4.1.4 ดินบริเวณแหล่งเก็บของเก่า

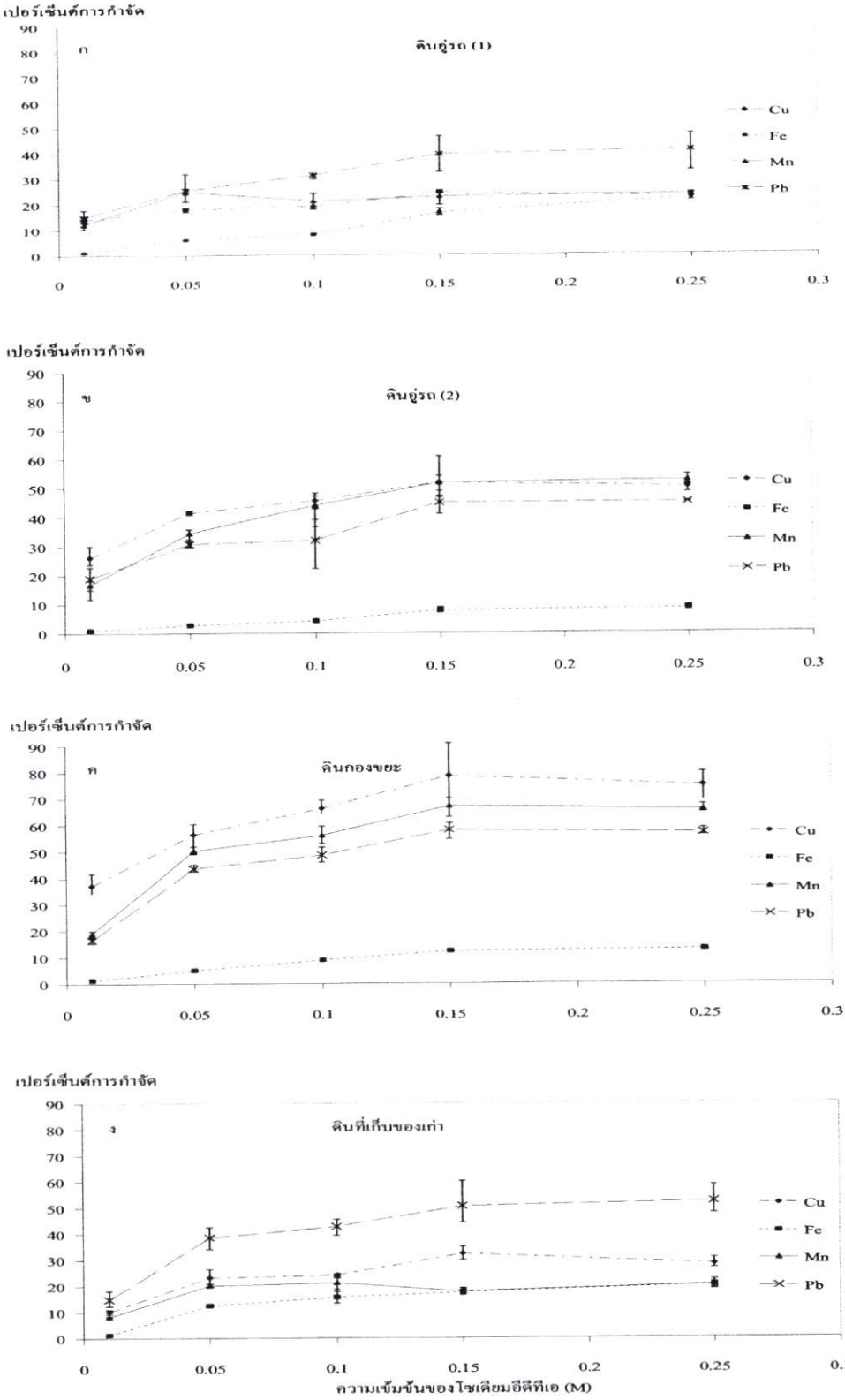
ลักษณะของเนื้อดินเป็นดินทรายร่วน มีเปอร์เซ็นต์ Fe_2O_3 เท่ากับ 36.15 เปอร์เซ็นต์จึงทำให้ดินมีสีเหลืองถึงน้ำตาลเข้ม คุณสมบัติต่าง ๆ จะคล้ายกับดินอู่รถ (1) และ ดินอู่รถ (2) แต่มีเปอร์เซ็นต์ซิลท์และเคลย์ที่ต่ำกว่า ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 1.83 meq/100 g ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินเท่ากับ 1.06 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นเท่ากับ 4.38 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณเหล็กมากที่สุด รองลงมา คือ ทองแดง แมงกานีส และตะกั่ว ตามลำดับ

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักออกจากดินแบบครั้งโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

4.2.1 การชะโลหะหนักออกจากดินแบบครั้งโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ

4.2.1.1 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสม

จากการทดลองเพื่อหาความเข้นข้นที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ โดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ในอัตราส่วนดิน 1 กรัม ต่อ สารละลาย 30 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.01 โมลาร์ (M) แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การชะของโลหะ คือ ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn) และตะกั่ว (Pb) แล้วเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายเป็น 0.05 M, 0.10 M, 0.15 M และ 0.25 M ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 (ก-ง) (ภาคผนวก จ.1 – จ.4)



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินตัวอย่างเมื่อแปรผันความเข้มข้นของโซเดียมอีดีทีเอในการชะ

จากรูปที่ 4.1 (ก-ง) พบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักของสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ส่วนใหญ่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สำหรับดินอู่รถ (1) ประสิทธิภาพการชะล้างตะกั่วมีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ แมงกานีส ทองแดงและเหล็ก ตามลำดับ สำหรับดินอู่รถ (2) ทองแดงและแมงกานีสถูกชะออกมามากที่สุด โดยประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินอู่รถ (2) มีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินอู่รถ (1) สำหรับดินกองขยะประสิทธิภาพการชะล้างทองแดงมีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ แมงกานีส ตะกั่วและเหล็ก ตามลำดับ และสำหรับดินที่เก็บของเก่า ตะกั่วสามารถชะล้างออกมาได้มากกว่าโลหะชนิดอื่น จากการทดลองทั้ง 5 ความเข้มข้น คือ 0.01 M, 0.05 M, 0.10 M, 0.15 M และ 0.25 M ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการชะโลหะหนักจากดินตัวอย่างทั้งสี่แหล่ง คือ 0.15 M เนื่องจากการชะล้างโลหะหนักส่วนใหญ่เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ เข้มข้น 0.25 M พบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างที่ได้ไม่แตกต่างจากการใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ เข้มข้น 0.15 M ในการสกัดมากนัก แต่โดยทั่วไปแล้วการใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอเข้มข้นเพียง 0.10 M ในการชะล้างโลหะหนัก สามารถให้ประสิทธิภาพการชะล้างสูงเช่นเดียวกัน (Irene and Yang, 1999 และ Abumaizar and Smith,1999)

4.2.1.2 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

จากการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ โดยใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมจากการทดลองเบื้องต้น คือ สารละลายโซเดียมอีดีทีเอความเข้มข้น 0.15 M โดยมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ดิน 1 กรัม ต่อ สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ 5 มิลลิลิตร, ดิน 1 กรัม ต่อ สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ 10 มิลลิลิตร, ดิน 1 กรัม ต่อ สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ 12 มิลลิลิตร, ดิน 1 กรัม ต่อ สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ 20 มิลลิลิตร และ ดิน 1 กรัม ต่อ สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ 30 มิลลิลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 (ก-ง) (ภาคผนวก จ.5 –จ.8)

จากรูปที่ 4.2 (ก – ง) พบว่า สำหรับดินอู่รถ (1) ประสิทธิภาพการชะล้างเหล็ก มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่างดินกับสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ให้สูงขึ้น ส่วนประสิทธิภาพการชะล้างแมงกานีส ทองแดง และตะกั่วจะค่อนข้างคงที่ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่างดินกับสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ให้สูงขึ้น ซึ่งแสดงว่า อัตราส่วนของดินต่อสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่ใช้ในการชะล้างโลหะมีผลน้อยต่อประสิทธิภาพการชะล้างทองแดง, แมงกานีส, และ ตะกั่ว ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Robert W. Peters (1999) สำหรับดินอู่รถ (2) การชะล้างแมงกานีสและทองแดง ด้วยอัตราส่วนดินต่อสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ เท่ากับ 1:30 จะให้ประสิทธิภาพการชะล้างที่ค่อนข้างสูง คือ มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการชะล้างตะกั่ว ด้วยอัตราส่วนดินต่อสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ เท่ากับ 1:30 จะมีค่าอยู่ในช่วง 20 - 40 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการชะล้างเหล็กในสภาวะที่อัตราส่วนดินต่อปริมาณสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่สูงขึ้น จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วน

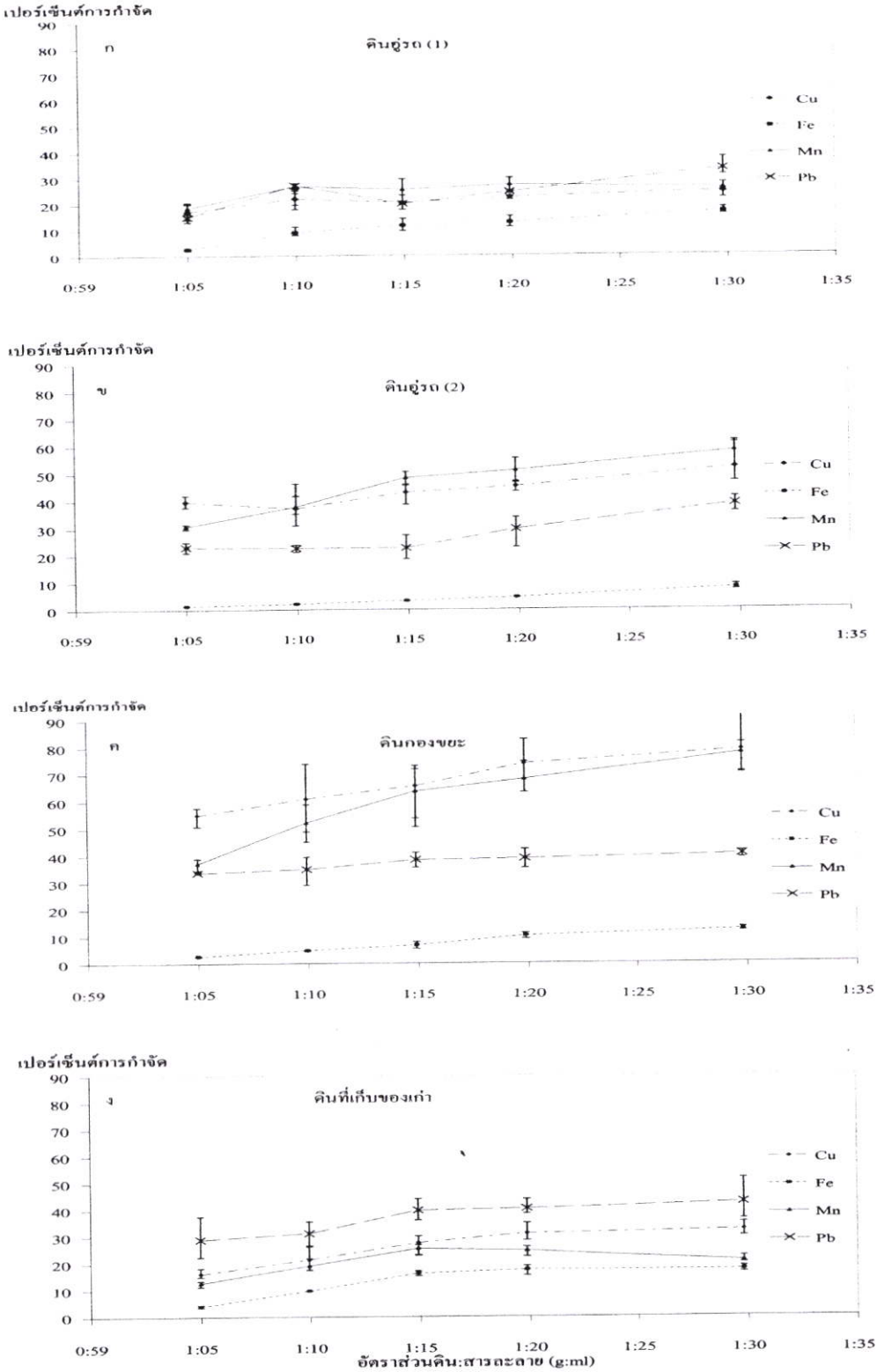
ดินต่อสารละลายโซเดียมอีดีทีเอเท่ากับ 1:30 สำหรับดินกองขยะ ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักส่วนใหญ่ มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับดินจากอู่รถ (2) เมื่อใช้อัตราส่วนดินต่อสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ เท่ากับ 1:30 ประสิทธิภาพการชะล้างทองแดงและแมงกานีสมีค่าเท่ากับ 78.69 และ 77.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสำหรับดินที่เก็บของเก่า ประสิทธิภาพการชะล้างทองแดง มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนดินต่อสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ส่วนประสิทธิภาพการชะล้างตะกั่วและเหล็กจะค่อนข้างที่จะคงที่เมื่อใช้อัตราส่วนดินต่อสารละลายโซเดียมอีดีทีเอเท่ากับ 1:15 เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่ใช้ในการชะล้างสูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะล้างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่สำหรับประสิทธิภาพการชะล้างของแมงกานีสจะมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนดินต่อสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ เท่ากับ 1:15 และเมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ สูงขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะล้างแมงกานีสลดลง

จากข้อมูลด้านประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินตัวอย่างทั้ง 4 ชนิดเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างดินต่อสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน พบว่า ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักทุกชนิดออกจากดินทั้ง 4 แหล่ง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่ใช้ในการชะล้าง แต่ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักบางชนิดของดินจากอู่รถ (1) ดินกองขยะ และดินที่เก็บของเก่า มีแนวโน้มที่ไม่เป็นไปดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เพื่อให้ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักจากดินตัวอย่างทั้งสี่แหล่งมีค่าที่เหมาะสมที่สุดจึงควรเลือกอัตราส่วนที่มีผลต่อการชะที่ดีที่สุด นั่นก็คืออัตราส่วนดินต่อสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ เท่ากับ 1:30

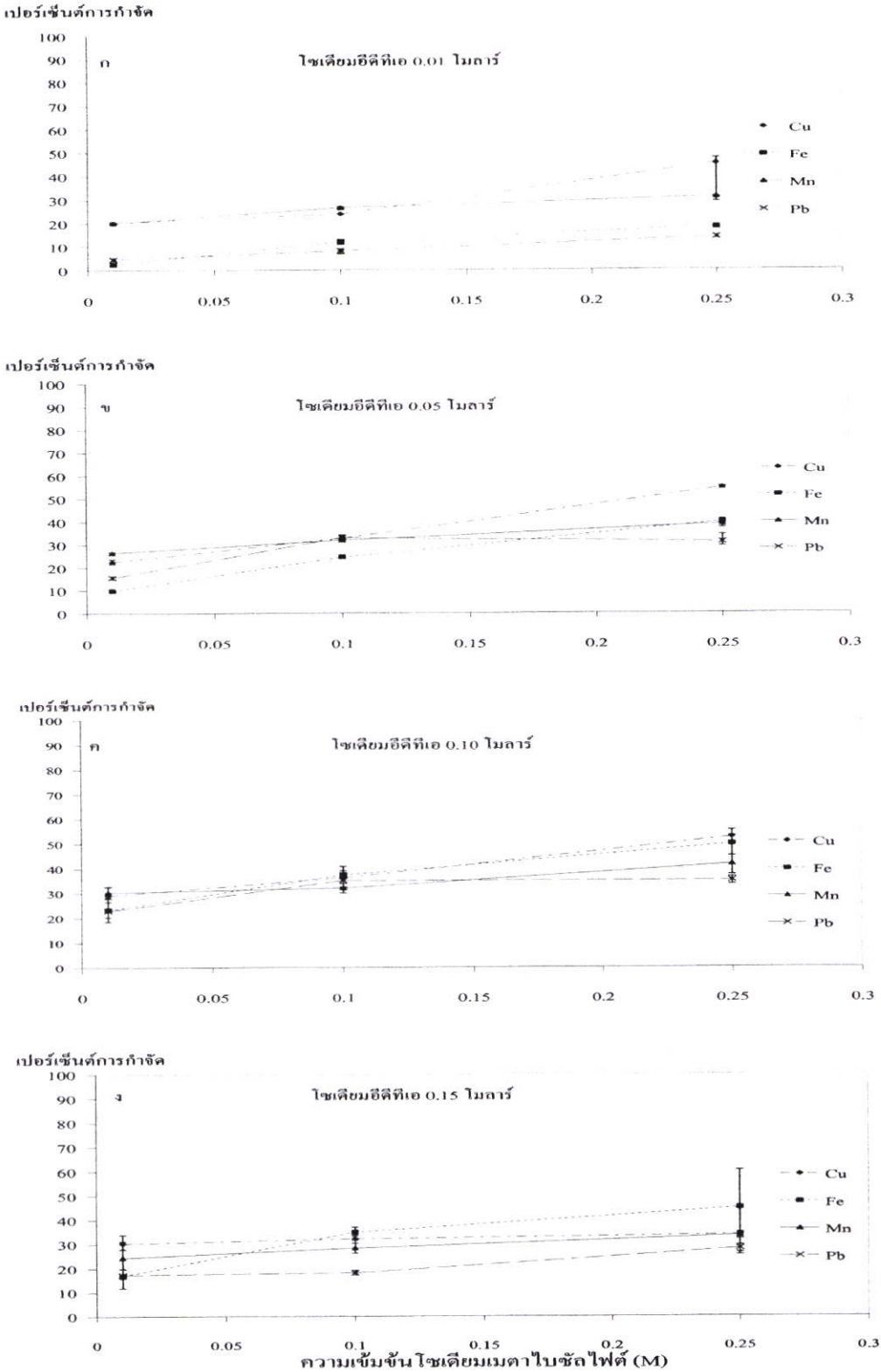
4.2.2 การชะโลหะหนักออกจากดินแบบครั้งโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

4.2.2.1 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสม

จากการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ โดยใช้อัตราส่วนความเข้มข้นของสารผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่แตกต่างกัน 12 อัตราส่วน แล้วนำสารละลายส่วนใสที่ได้หลังการสกัดไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 (ก-ง) -4.6 (ก-ง)



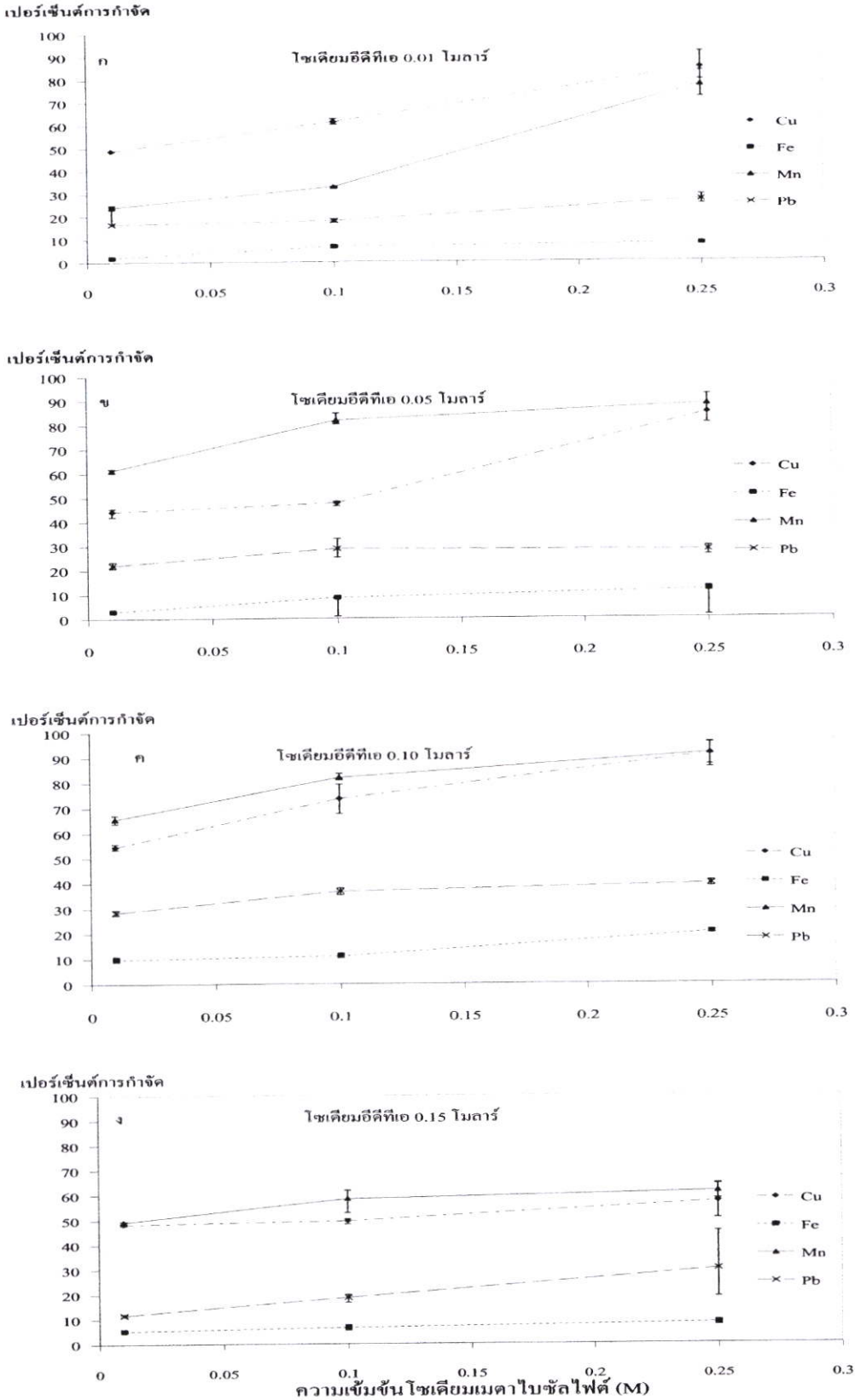
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินตัวอย่างเมื่อแปรผันอัตราส่วนระหว่างดินกับสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ



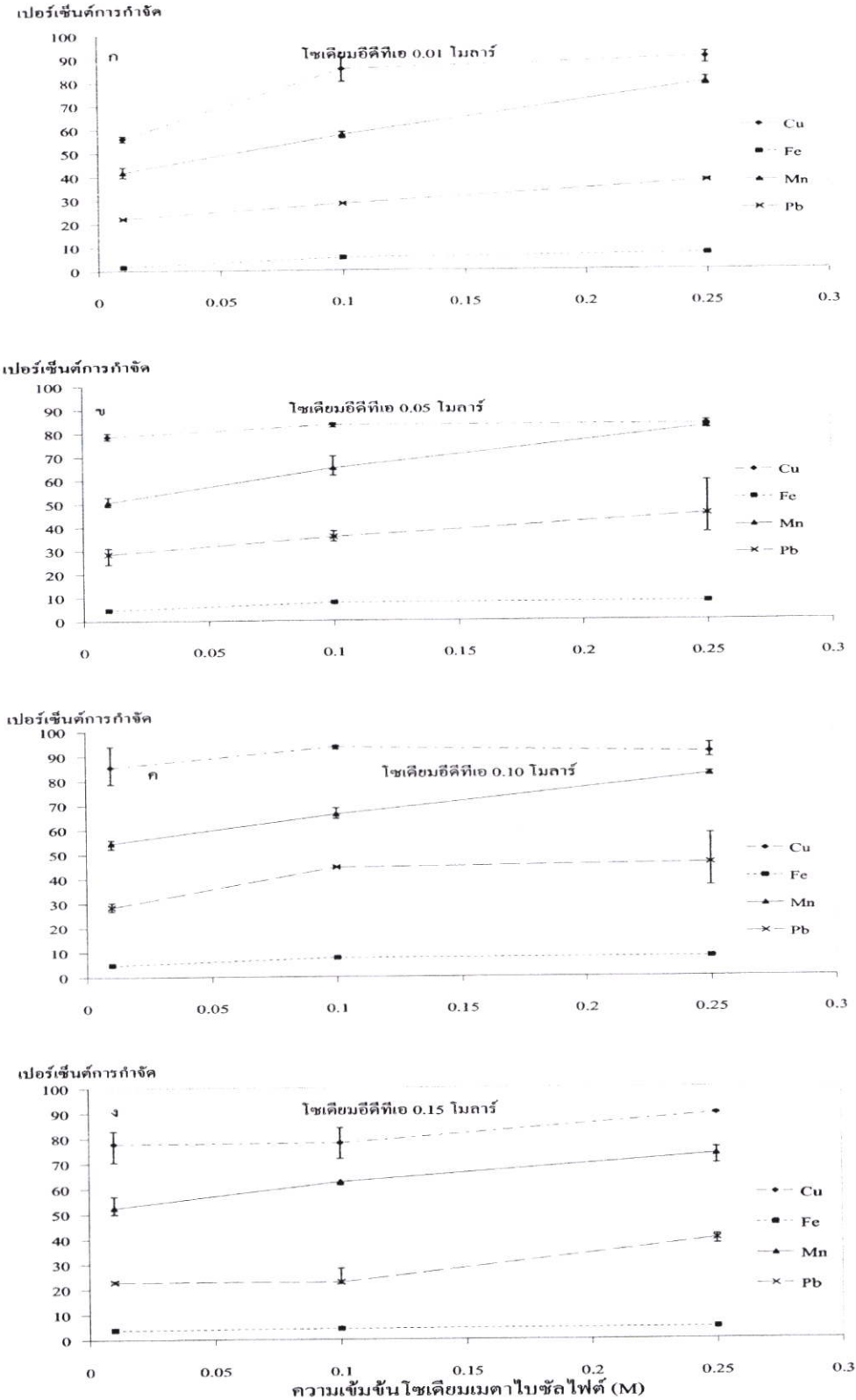
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินอู่รถ (1)

จากรูปที่ 4.3 ก เมื่อใช้ความเข้มข้นโซเดียมอีดีทีเอคงที่ที่ 0.01 M และเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เรื่อยๆ พบว่า ประสิทธิภาพการชะเหล็ก แมงกานีสและตะกั่ว เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ไม่รวดเร็วเท่าการเพิ่มของประสิทธิภาพการชะทองแดง โดยเฉพาะในช่วงเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ จาก 0.1 M เป็น 0.25 M เมื่อใช้ความเข้มข้นโซเดียมอีดีทีเอคงที่ที่ 0.05 M และเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เรื่อยๆ (รูปที่ 4.3 ข) จะเห็นว่าประสิทธิภาพการชะเหล็กและแมงกานีสเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ตะกั่วเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ จาก 0.1 M เป็น 0.25 M ประสิทธิภาพลดลง อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์มากขึ้นทำให้ตกตะกอนเป็นเลดซัลเฟตได้ (Abumizer and Smith,1999) เมื่อทำการทดลองโดยใช้ความเข้มข้นโซเดียมอีดีทีเอคงที่ที่ 0.10M (รูปที่ 4.3 ค) และ 0.15 M (รูปที่ 4.3 ง) ประสิทธิภาพการชะโลหะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพิ่มขึ้น (ภาคผนวก ฉ.1)

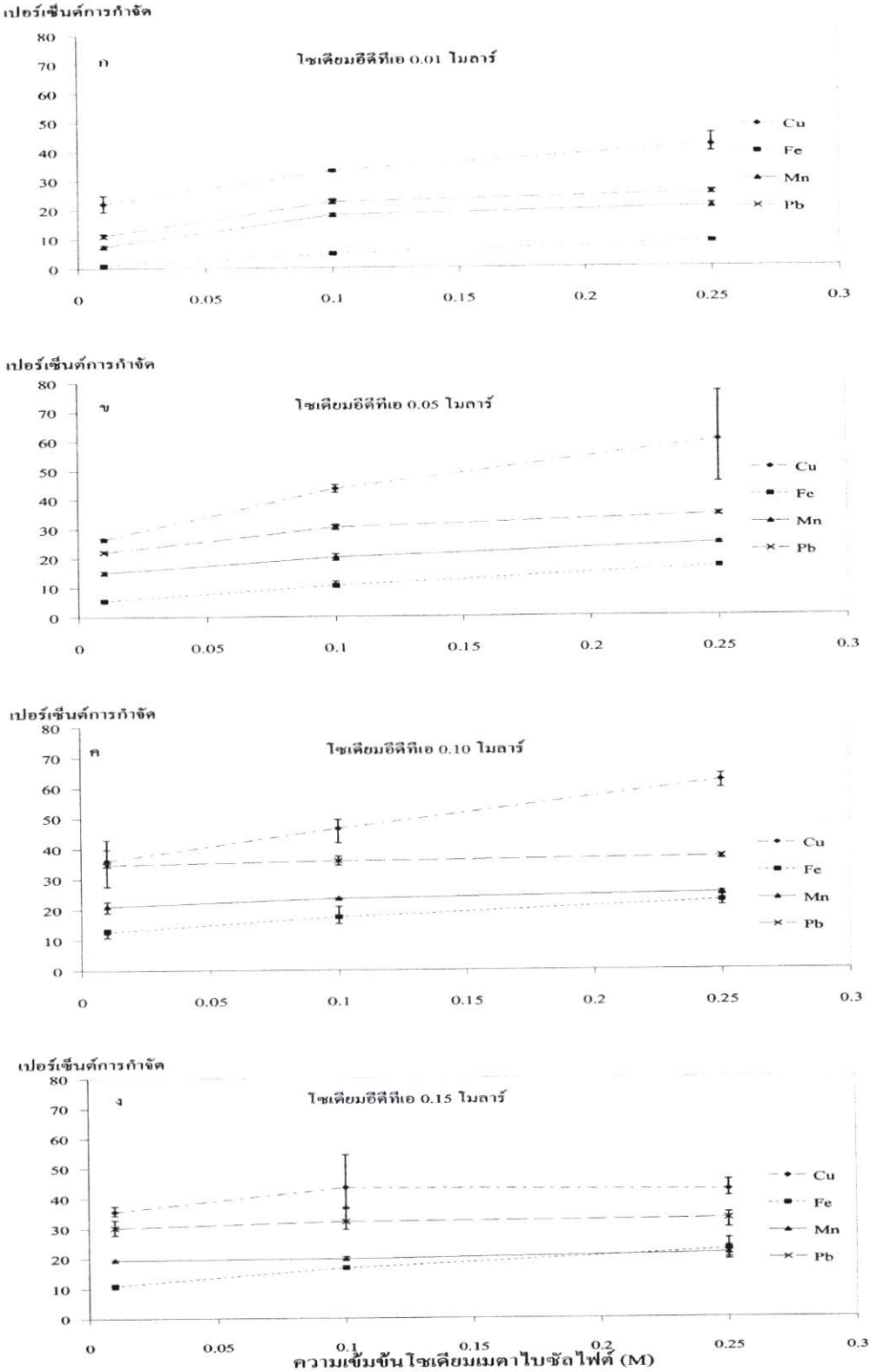
จากรูปที่ 4.4 เมื่อให้ความเข้มข้นของโซเดียมอีดีทีเอคงที่ที่ 0.01 M (รูปที่ 4.4 ก) และ 0.10 M (รูปที่ 4.4 ค) ประสิทธิภาพการชะโลหะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อทำการทดลองโดยใช้โซเดียมอีดีทีเอความเข้มข้นคงที่ที่ 0.05M (รูปที่ 4.4 ข) ประสิทธิภาพการชะเหล็ก แมงกานีส และตะกั่ว เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ไม่รวดเร็วเท่าการเพิ่มของประสิทธิภาพการชะทองแดง โดยเฉพาะในช่วงเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ จาก 0.1 M เป็น 0.25 M และที่ความเข้มข้นโซเดียมอีดีทีเอคงที่ที่ 0.15 M (รูปที่ 4.4 ง) ประสิทธิภาพการชะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพิ่มขึ้น (ภาคผนวก ฉ.2)



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินอู่รถ (2)



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินกองขยะ



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินที่เก็บของเก่า

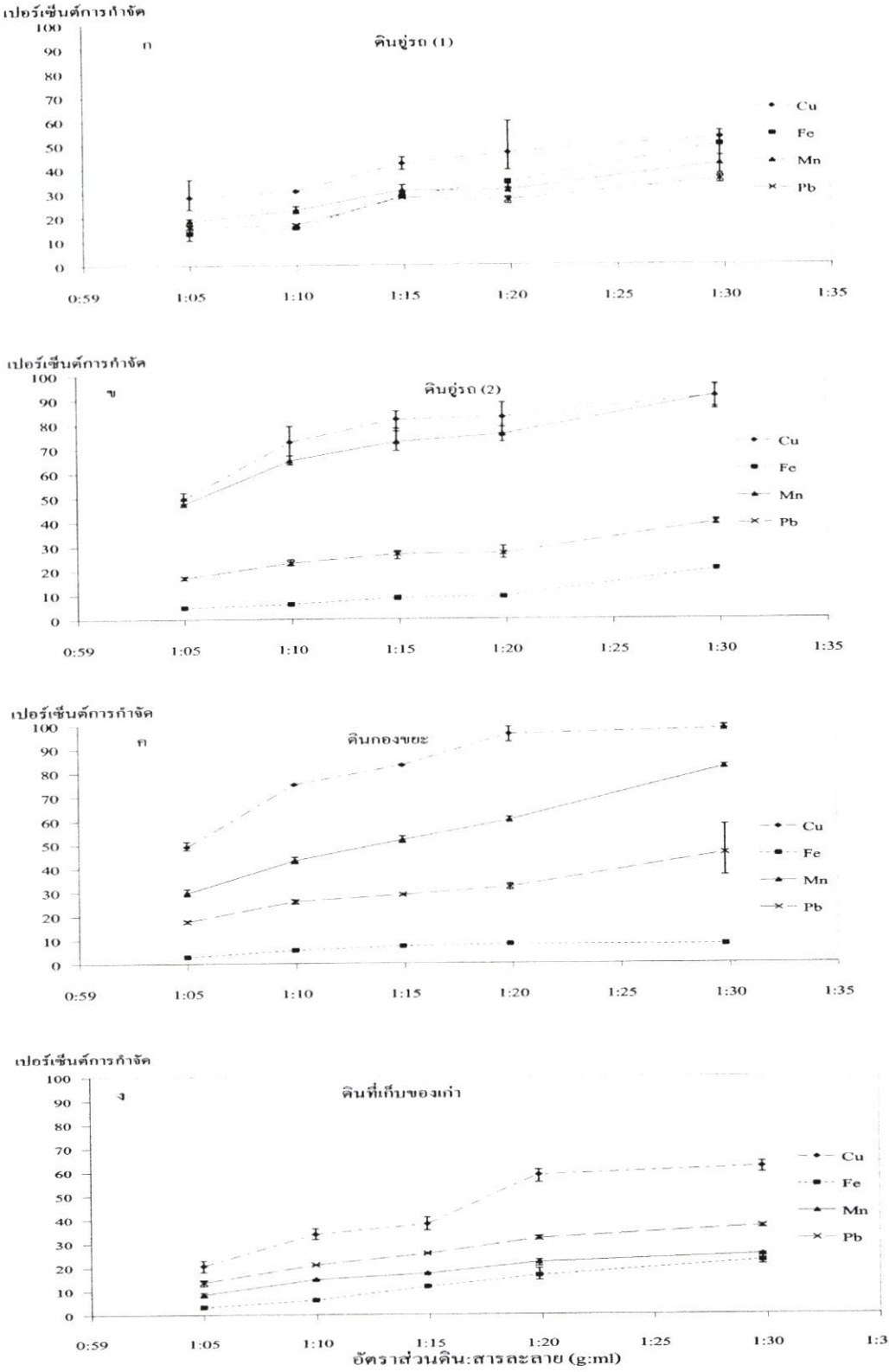
จากรูปที่ 4.5 ก เมื่อให้ความเข้มข้นโซเดียมอีดีทีเอคงที่ที่ 0.01M และเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เรื่อยๆ พบว่า ประสิทธิภาพการชะโลหะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อทำการทดลองโดยใช้ความเข้มข้นโซเดียมอีดีทีเอคงที่ที่ 0.05(รูปที่ 4.5 ข) และ 0.10 M (รูปที่ 4.5 ค)ประสิทธิภาพการชะทองแดง แมงกานีสและตะกั่ว เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่วนเหล็กประสิทธิภาพการชะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และเมื่อทำการทดลองโดยใช้ความเข้มข้นโซเดียมอีดีทีเอ 0.15 M (รูปที่ 4.5 ง) ประสิทธิภาพการชะโลหะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ภาคผนวก ฉ.3)

เมื่อให้ความเข้มข้นโซเดียมอีดีทีเอคงที่ที่ 0.01M (รูปที่ 4.6 ก) และ 0.15 M (รูปที่ 4.6 ง) จะเห็นว่า ประสิทธิภาพการชะโลหะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพิ่มขึ้น เมื่อทำการทดลองโดยใช้โซเดียมอีดีทีเอความเข้มข้นคงที่ที่ 0.05 M (รูปที่ 4.6 ข) ประสิทธิภาพการชะทองแดง แมงกานีสและตะกั่ว เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่วนเหล็กประสิทธิภาพการชะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อทำการทดลองโดยใช้โซเดียมอีดีทีเอความเข้มข้นคงที่ 0.10 M (รูปที่ 4.6 ค) ประสิทธิภาพการชะทองแดง เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ เหล็ก แมงกานีส และตะกั่วประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ภาคผนวก ฉ.4)

จากรูปที่ 4.3-4.6 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการชะจะมีลักษณะที่คล้ายกัน คือ มีค่าประสิทธิภาพการชะโลหะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของสารละลายผสมที่ให้ประสิทธิภาพในการชะโลหะสูงสุด คือ สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ 0.10 M และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.25 M

4.2.2.2 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

จากการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.25 M และ โซดียมอีดีทีเอ 0.10 M โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7 (ภาคผนวก ฉ.5- ฉ.8)

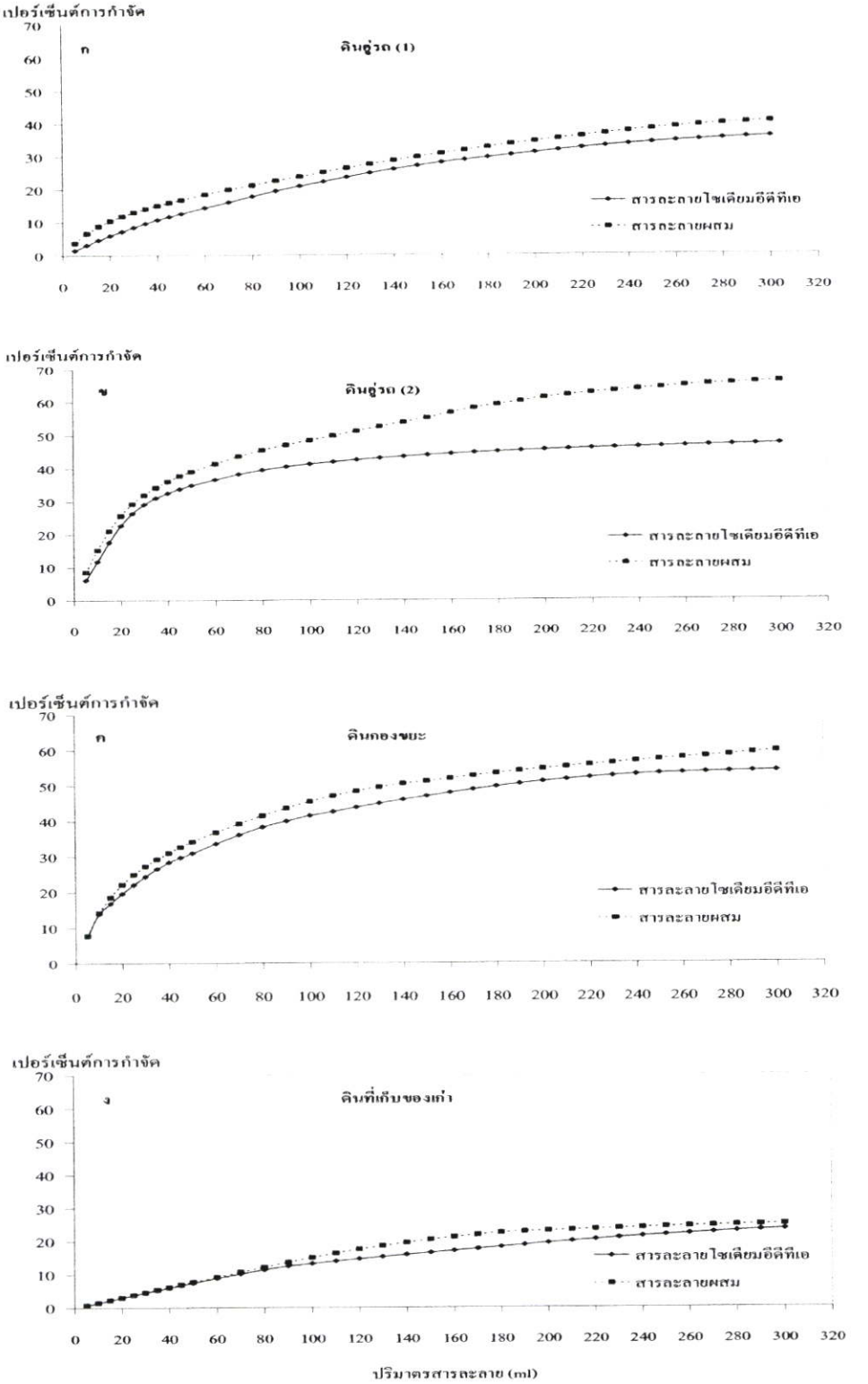


รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินตัวอย่างที่อัตราส่วนต่างๆ

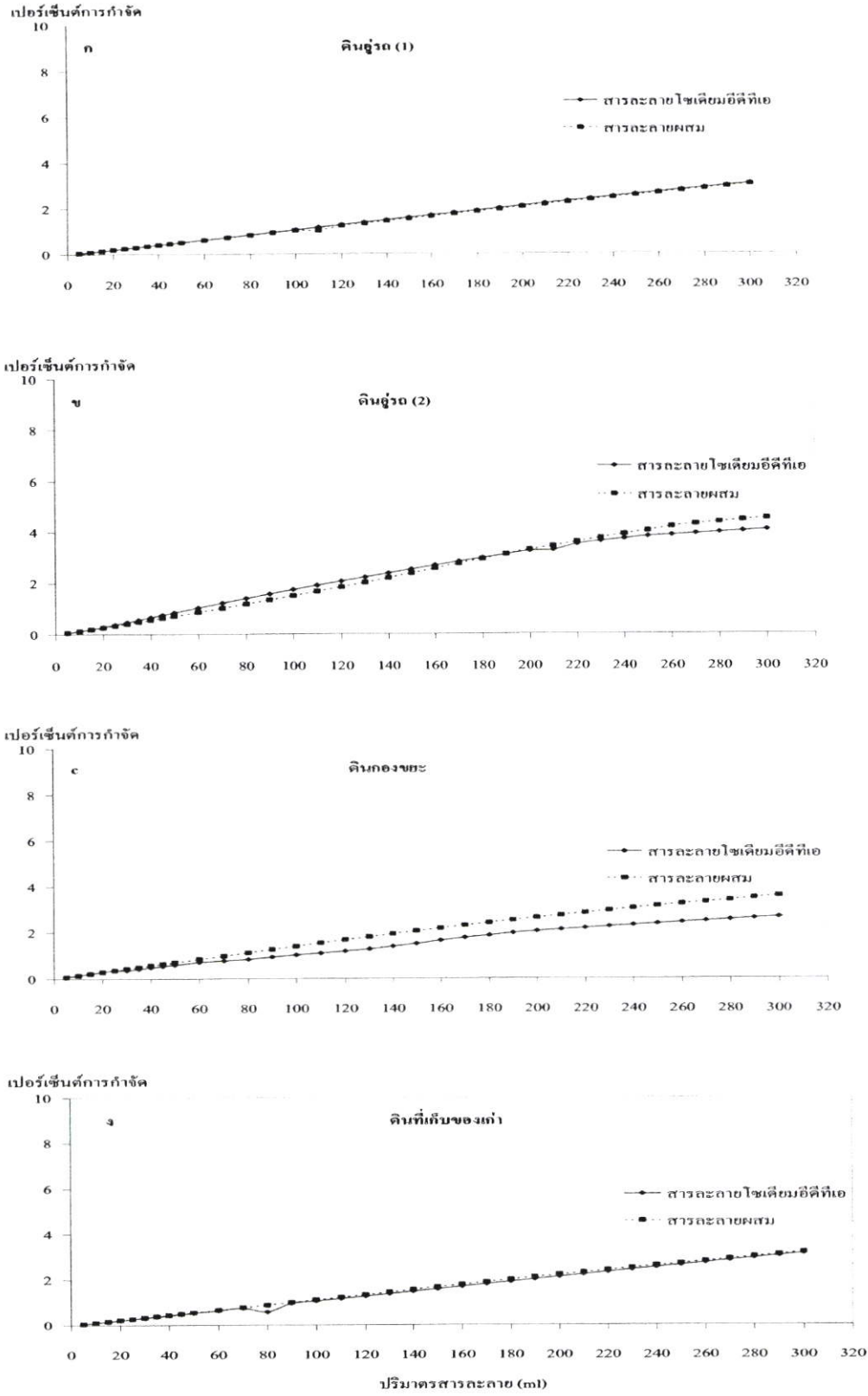
จากรูปที่ 4.7 (ก – ง) พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนดินต่อสารละลายมากขึ้น โลหะหนักทุกตัวถูกชะออกมาเพิ่มมากขึ้น ผลการทดลองคล้ายกับกรณีที่ใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอในการชะโลหะออกจากดิน เพราะสารละลายจะไปช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้มากขึ้น ซึ่งในช่วงอัตราส่วนดินต่อสารละลาย 1 กรัม ต่อ 5 มิลลิลิตร ถึง 1 กรัม ต่อ 20 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพการชะโลหะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอัตราส่วนดินต่อสารละลาย 1 กรัม ต่อ 30 มิลลิลิตร และผลการทดลองชะโลหะออกจากดินทุกตัวมีแนวโน้มเหมือนกัน จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ ดิน 1 กรัม ต่อ สารละลาย 30 มิลลิลิตร

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์โดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

การทดสอบหาประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์นี้ใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ 0.15 M และสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.25 M และ 0.1 M ตามลำดับ โดยใช้สารละลายปริมาตร 300 มิลลิลิตร โดยให้ไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุดิน 10 กรัม ทางด้านบน ด้วยปั๊มที่อัตราการไหล 1.2 มิลลิลิตรต่อนาที แล้วเก็บตัวอย่างครั้งละ 5 มิลลิลิตร ในช่วง 50 มิลลิลิตรแรก ส่วนที่เหลือเก็บครั้งละ 10 มิลลิลตร แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS พร้อมทั้งหาเปอร์เซ็นต์การกำจัด ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 (ภาคผนวก จ และภาคผนวก ฉ)



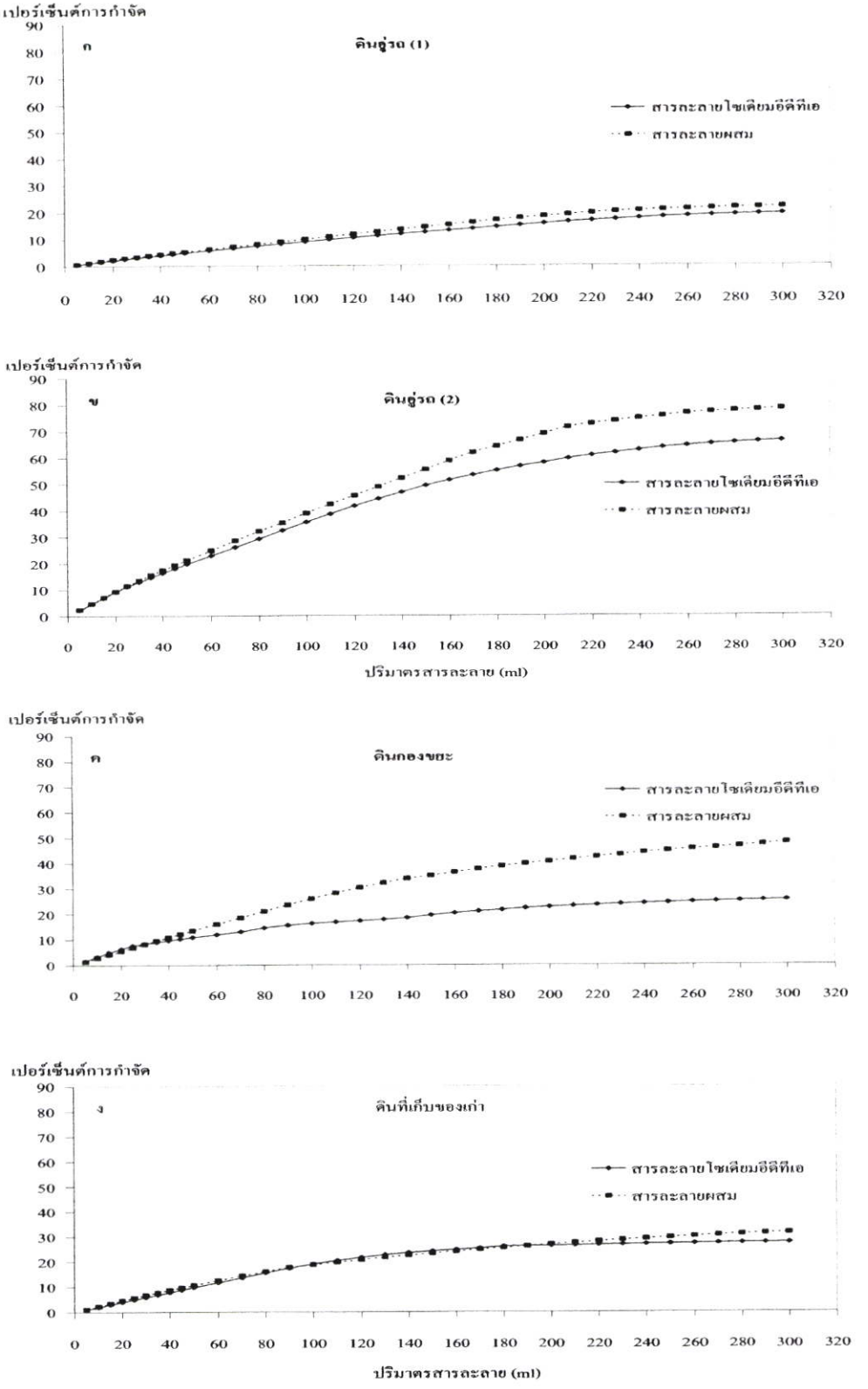
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงในดินตัวอย่าง



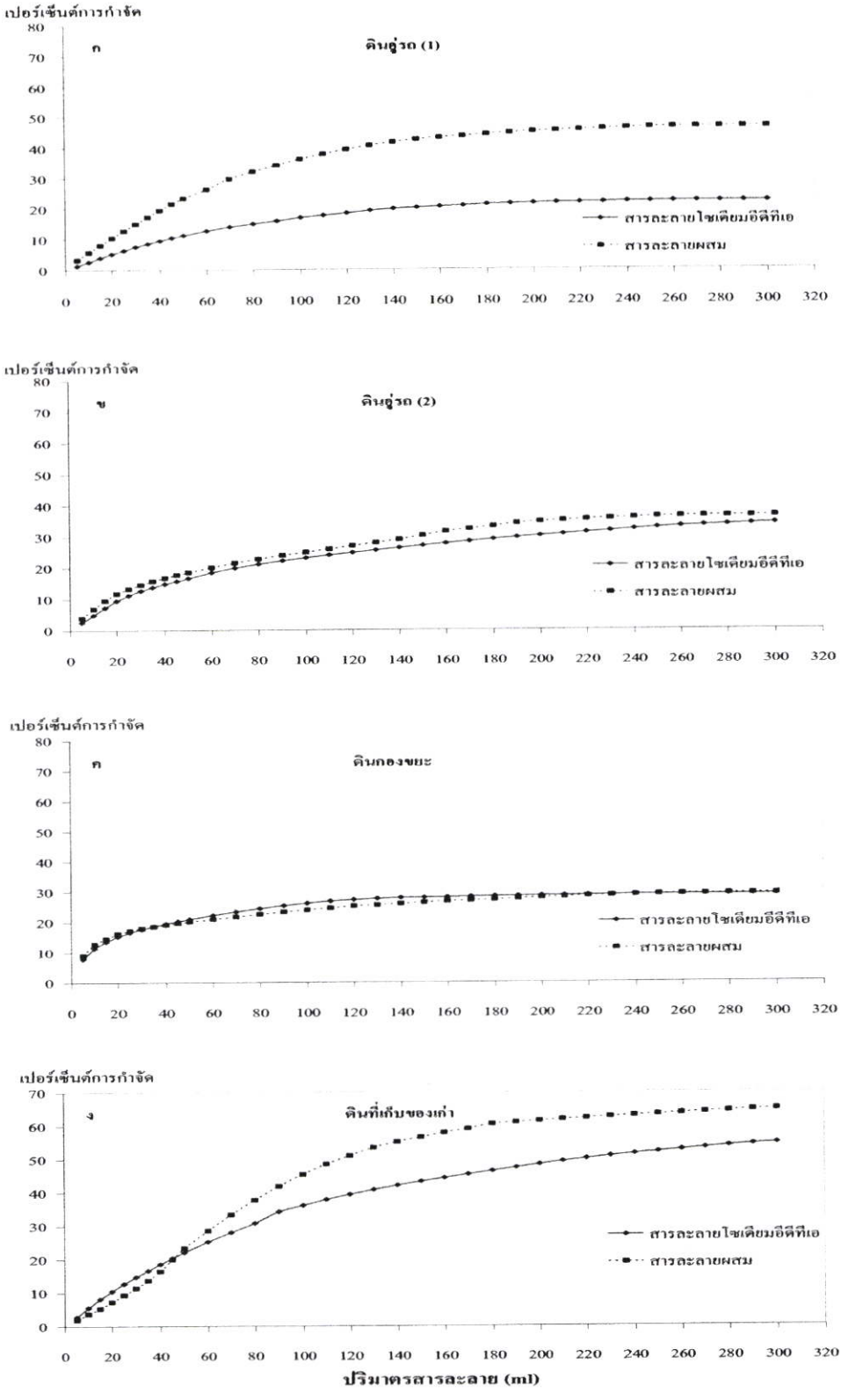
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กในดินตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.8 (ก - ง) จะเห็นว่า เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในการกำจัดทองแดงออกจากดินตัวอย่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงออกจากดินตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5-70 มิลลิลิตร แรก และเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนปริมาตรครบ 300 มิลลิลิตร โดยเมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ 300 มิลลิลิตร ดินกองขยะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงสูงที่สุด รองลงมา คือ ดินอู่รถ (2) ดินอู่รถ (1) และดินที่เก็บของเก่า ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงเท่ากับ 53.93, 47.19, 35.74 และ 23.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อใช้สารละลายผสมโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 300 มิลลิลิตร ดินอู่รถ (2) มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงสูงที่สุด รองลงมา คือ ดินกองขยะ ดินอู่รถ (1) และดินที่เก็บของเก่า ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงเท่ากับ 66.08, 59.81, 40.23 และ 25.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.9 (ก - ง) จะเห็นว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในการกำจัดเหล็กออกจากดินตัวอย่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็กออกจากดินตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนปริมาตรครบ 300 มิลลิลิตร โดยเมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ 300 มิลลิลิตร ดินอู่รถ (2) มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็กสูงที่สุด รองลงมา คือ ดินที่เก็บของเก่า ดินอู่รถ (1) และดินกองขยะ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็กเท่ากับ 4.07, 3.31, 3.03 และ 2.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 300 มิลลิลิตร ดินอู่รถ (2) มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็กสูงที่สุด รองลงมา คือ ดินกองขยะ ดินที่เก็บของเก่า และดินอู่รถ (1) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็กเท่ากับ 4.52, 3.58, 3.18 และ 3.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดแมงกานีสในดินตัวอย่าง



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในดินตัวอย่าง

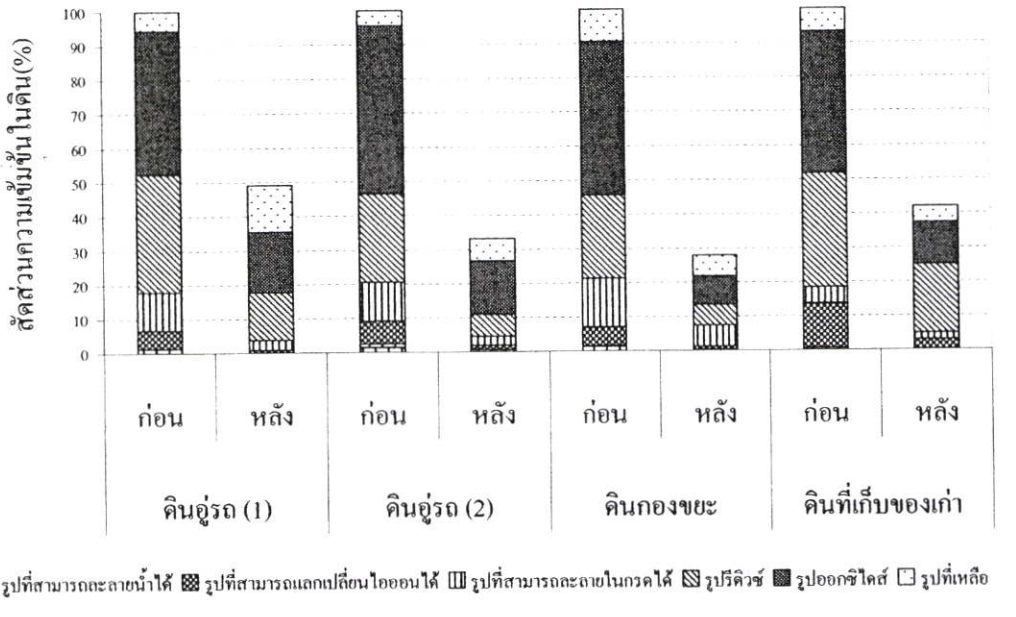
จากรูปที่ 4.10 (ก - ง) จะเห็นว่า เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในการกำจัดแมงกานีสออกจากดินตัวอย่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดแมงกานีสออกจากดินตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5-240 มิลลิลิตรแรก และเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนปริมาตรครบ 300 มิลลิลิตร โดยเมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ 300 มิลลิลิตร ดินอู่รถ (2) มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดแมงกานีสสูงที่สุด รองลงมา คือ ดินที่เก็บของเก่า ดินกองขยะ และดินอู่รถ (1) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดแมงกานีสเท่ากับ 61.90, 27.55, 25.14 และ 20.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 300 มิลลิลิตร ดินอู่รถ (2) มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดแมงกานีสสูงที่สุด รองลงมา คือ ดินกองขยะ ดินที่เก็บของเก่า และดินอู่รถ (1) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดแมงกานีสเท่ากับ 78.18, 48.04, 31.49 และ 21.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.11 (ก - ง) จะเห็นว่า เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในการกำจัดตะกั่วออกจากดินตัวอย่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วออกจากดินตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5-130 มิลลิลิตรแรก และเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนปริมาตรครบ 300 มิลลิลิตร โดยเมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ 300 มิลลิลิตร ดินที่เก็บของเก่ามีเปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วสูงที่สุด รองลงมา คือ ดินอู่รถ (2) ดินกองขยะ และดินอู่รถ (1) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วเท่ากับ 56.85, 34.01, 33.28 และ 22.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 300 มิลลิลิตร ดินที่เก็บของเก่า มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วสูงที่สุด รองลงมา คือ ดินอู่รถ (1) ดินอู่รถ (2)และดินกองขยะ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วเท่ากับ 67.41, 49.21, 36.37 และ 33.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.8 – 4.11 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการชะโลหะแบบคอลัมน์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สำหรับดินอู่รถ (1) กับดินที่เก็บของเก่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะใกล้เคียงกัน และดินอู่รถ (2) กับดินกองขยะก็มีประสิทธิภาพในการกำจัดเช่นเดียวกัน เช่น เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอกำจัดทองแดงในดินอู่รถ(1)กับดินที่เก็บของเก่า มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ35.74 และ 23.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสำหรับดินอู่รถ (2) กับดินกองขยะ มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ53.93 และ47.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งอาจเนื่องมาจากดินทั้ง 2 กลุ่ม มีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่คล้ายกัน คือ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนที่ใกล้เคียงกัน สำหรับดินอู่รถ (1) มีค่าเท่ากับ 1.30 สำหรับดินที่เก็บของเก่า มีค่าเท่ากับ 1.83 สำหรับดินอู่รถ (2) มีค่าเท่ากับ 2.08 และสำหรับดินกองขยะ มีค่าเท่ากับ 3.91 และค่าเหล็กออกไซด์สำหรับดินอู่รถ(1)และดินที่เก็บของเก่าที่มีค่าสูงกว่าดินอีก 2 ชนิด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 41.02 และ 36.15 ตามลำดับ จากคุณสมบัติที่คล้ายกันดังกล่าวจึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะของดินทั้ง 2 กลุ่มมีลักษณะที่คล้ายกัน (ภาคผนวก ค)

4.4 การสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential extraction)

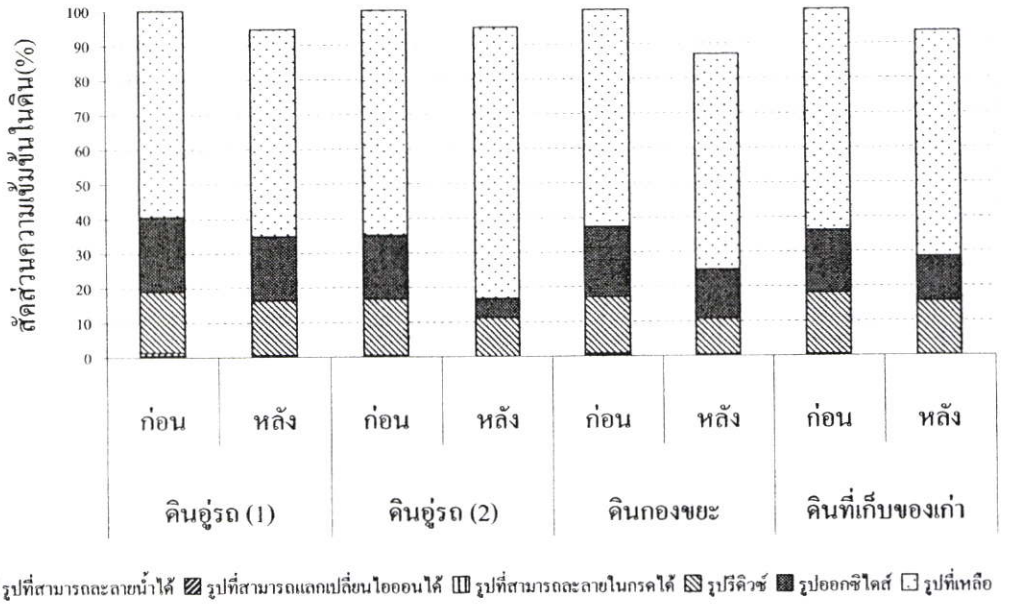
ขั้นตอนนี้เป็นการนำวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น 6 ขั้น มาใช้เพื่อแยกโลหะหนักที่สนใจออกเป็นส่วน ๆ ตามการใช้สารละลายสกัดที่มีความแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่ออกมาในแต่ละขั้นสามารถใช้ทำนายพฤติกรรมของโลหะหนักในตัวอย่างได้ โดยทำการทดลองทั้งก่อนและหลังการชะล้างโลหะหนักออกจากดินเมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอในการชะแบบครั้ง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.12 -4.15 (ภาคผนวก จ.13 - .จ18)



รูปที่ 4.12 สัดส่วนทองแดงในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน

รูปที่ 4.12 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังการชะทองแดงแบบครั้ง จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการชะทองแดง มีทองแดงอยู่ในรูปออกซิไดซ์มากที่สุด ซึ่งพบประมาณ 41.42 - 49.19 เปอร์เซ็นต์ รองมาจะอยู่ในรูปรีดิวซ์ ซึ่งจะพบประมาณ 25.45 - 34.58 เปอร์เซ็นต์ ส่วนทองแดงในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่เหลือจะพบในปริมาณที่น้อย เมื่อทำการชะทองแดงด้วยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ พบว่า ทองแดงในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ ถูกชะออกไปมากที่สุด จากกราฟจะเห็นได้ว่า ภายหลังการชะล้างดินตัวอย่างจะพบทองแดงในรูปที่ละลายน้ำได้ในปริมาณที่น้อยลงมาก และยังพบว่าทองแดงในรูปที่เหลือของดินตัวอย่างจากอู่รถทั้งสองมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากทองแดงในรูปอื่น ๆ เปลี่ยนมาอยู่ในรูปนี้มากขึ้น จึงเป็นเหตุให้เปอร์เซ็นต์การชะล้างมีค่าลดลง

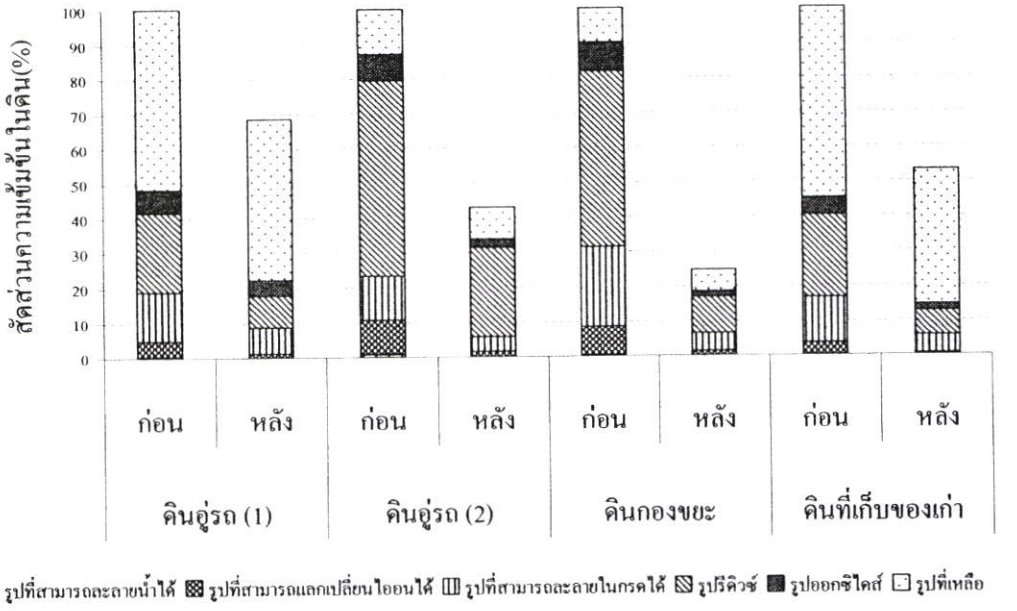
นอกจากนี้ พบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sun; *et. al.* (2001) ซึ่งเสนอว่าลำดับการลดลงของปริมาณทองแดงในสัดส่วนต่าง ๆภายหลังจากการชะล้างด้วยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ จะเป็นดังนี้ คือ รูปรีดิวซ์จะลดลงมากกว่ารูปออกซิไดซ์ รูปออกซิไดซ์ลดลงมากว่ารูปที่ละลายในกรด และรูปที่ละลายในกรดจะลดลงมากกว่ารูปที่เหลือ และจากการที่ทองแดงในรูปเหล่านี้มีการลดลงที่มาก ทำให้สัดส่วนโดยรวมของทองแดงในดินตัวอย่างแต่ละชนิดมีปริมาณที่น้อยลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะล้างทองแดงจากดินตัวอย่างทั้งสี่มีค่าที่สูง



รูปที่ 4.13 สัดส่วนเหล็กในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน

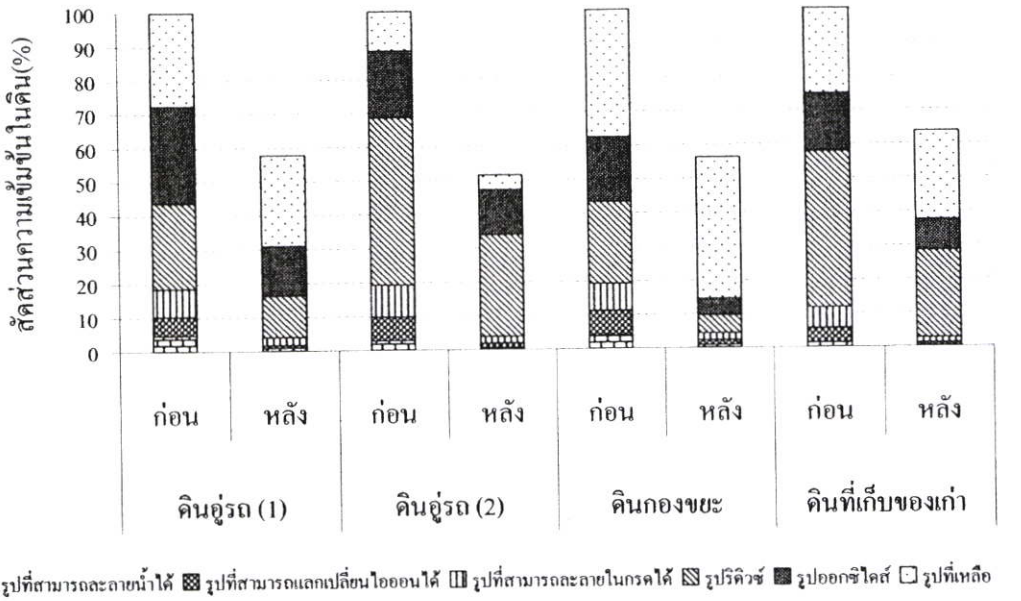
รูปที่ 4.13 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังการชะเหล็กแบบครั้ง จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการชะเหล็ก มีเหล็กในรูปที่เหลือเป็นส่วนมาก ซึ่งพบประมาณ 59.40 - 63.73 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปออกซิไดซ์และรูปรีดิวซ์ ซึ่งพบประมาณ 18.18 - 21.59 เปอร์เซ็นต์ และ 16.29 - 17.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อทำการชะเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ พบว่าเหล็กในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ ถูกชะออกไปมากกว่าเหล็กในรูปอื่นๆ

แต่ภายหลังจากการชะล้าง ยังพบว่า ดินทั้งสี่แหล่งยังคงมีปริมาณเหล็กที่สูงอยู่ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการชะล้างที่ค่อนข้างต่ำ ถึงแม้ว่าค่าคงที่การเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเหล็กกับโซเดียมอีดีทีเอ จะมีค่าที่สูงมากก็ตาม แต่เหล็กในรูปที่เหลือนั้นจะมีโครงสร้างที่แข็งแรง ทำให้ยากต่อการชะล้าง (Sun; *et. al.* 2001) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะล้างมีค่าต่ำ



รูปที่ 4.14 สัดส่วนแมงกานีสในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน

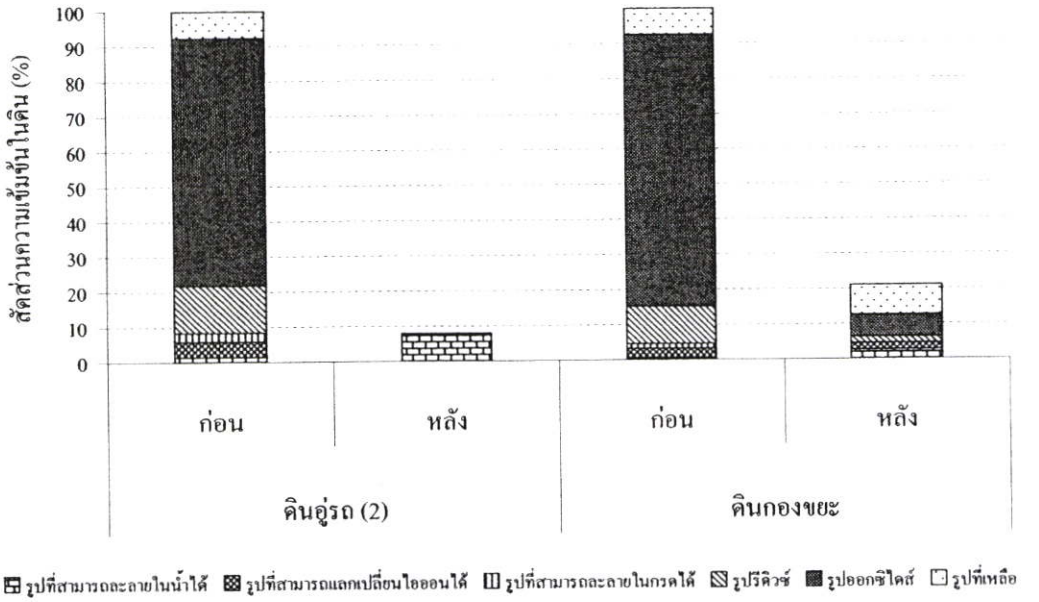
รูปที่ 4.14 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังการชะแมงกานีสแบบครั้ง จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการชะแมงกานีส มีแมงกานีสในรูปต่าง ๆที่แตกต่างกัน โดยดินอู่รถ (1) และดินที่เก็บของเก่า จะมีแมงกานีสในรูปที่เหลือมากที่สุด รองลงมาคือ รูปรีดิวซ์ ส่วนดินอู่รถ (2) และดินกองขยะ จะมีแมงกานีสในรูปรีดิวซ์มากที่สุด เมื่อทำการชะเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ พบว่า แมงกานีสในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนถูกชะออกไปมากที่สุด แต่เนื่องด้วยสัดส่วนของแมงกานีสของดินตัวอย่างมีค่าที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะล้างแมงกานีสของดินตัวอย่างทั้งสี่มีค่าที่แตกต่างกัน โดยดินตัวอย่างจากกองขยะและอู่รถ (2) จะมีประสิทธิภาพการชะล้างที่สูงกว่าดินตัวอย่างจากแหล่งเก็บของเก่าและ อู่รถ (1) เนื่องจากโดยทั่วไปการชะล้างโลหะหนักในรูปที่เหลือจะมีประสิทธิภาพที่น้อยกว่าการชะล้างโลหะหนักในรูปอื่น ๆ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักในรูปที่เหลือมีค่าต่ำ



รูปที่ 4.15 สัดส่วนตะกั่วในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน

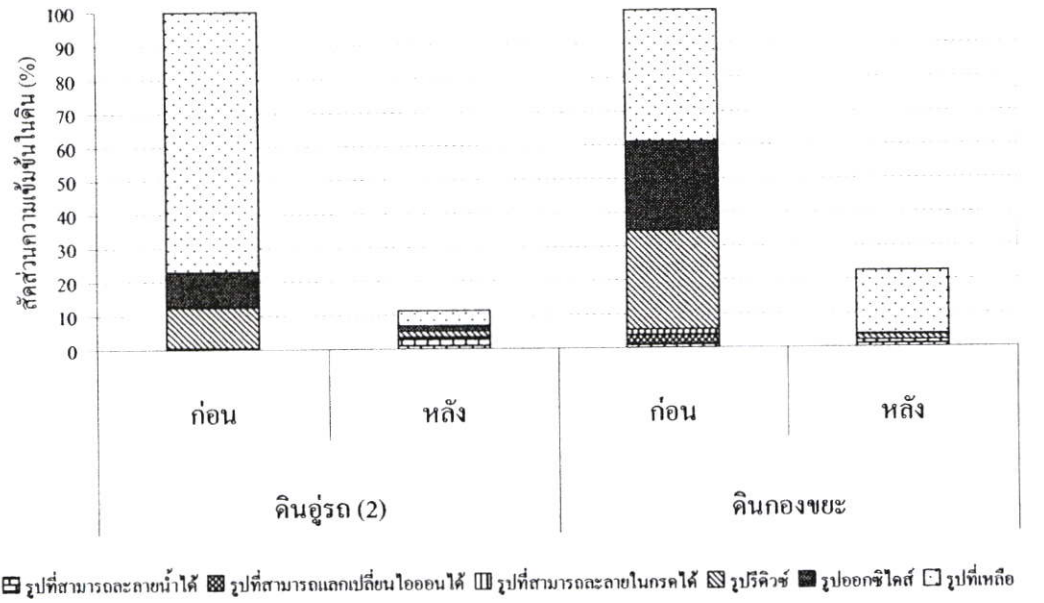
จากรูปที่ 4.15 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังการชะตะกั่วแบบครั้ง พบว่า ก่อนทำการชะตะกั่ว มีตะกั่วในรูปต่างๆ ที่แตกต่างกัน โดยดินกองขยะจะมีตะกั่วในรูปที่เหลือมากที่สุด ส่วนดินตัวอย่างที่เหลือทั้งสามจะมีตะกั่วรูปรีดิวซ์มากที่สุด เมื่อทำการชะตะกั่วด้วยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ พบว่า ตะกั่วในรูปที่ละลายน้ำได้ ถูกชะออกไปมากที่สุด รองมาคือตะกั่วรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ แต่โดยทั่วไปโซเดียมอีดีทีเอ สามารถชะล้างตะกั่วที่เกิดพันธะกับออกไซด์และซิลิเกตได้ค่อนข้างดี (Elliott and Brown 1989) ประสิทธิภาพการชะล้างตะกั่วใน รูปรีดิวซ์จึงมีค่าที่ค่อนข้างสูง แต่สัดส่วนของตะกั่วในรูปที่เหลือของดินจากกองขยะและแหล่งเก็บของเก่ามีค่าสูงขึ้น เนื่องจากตะกั่วในรูปอื่น ๆ เปลี่ยนรูปเป็นรูปที่เหลือ

ผลการทดลองการใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอในการชะแบบคอลัมน์ทำการทดลองดิน 2 ตัวอย่าง คือดินอู่รถ (2) และ ดินกองขยะ เนื่องจากได้ทำการล้างโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์ของดินอู่รถ(1)และดินที่เก็บของเก่าแล้วได้ทิ้งดินจึงไม่สามารถทำการสกัดแบบลำดับขั้นดินทั้ง 2 ตัวอย่าง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.16 – 4.19 (ภาคผนวก จ.19-จ.24)



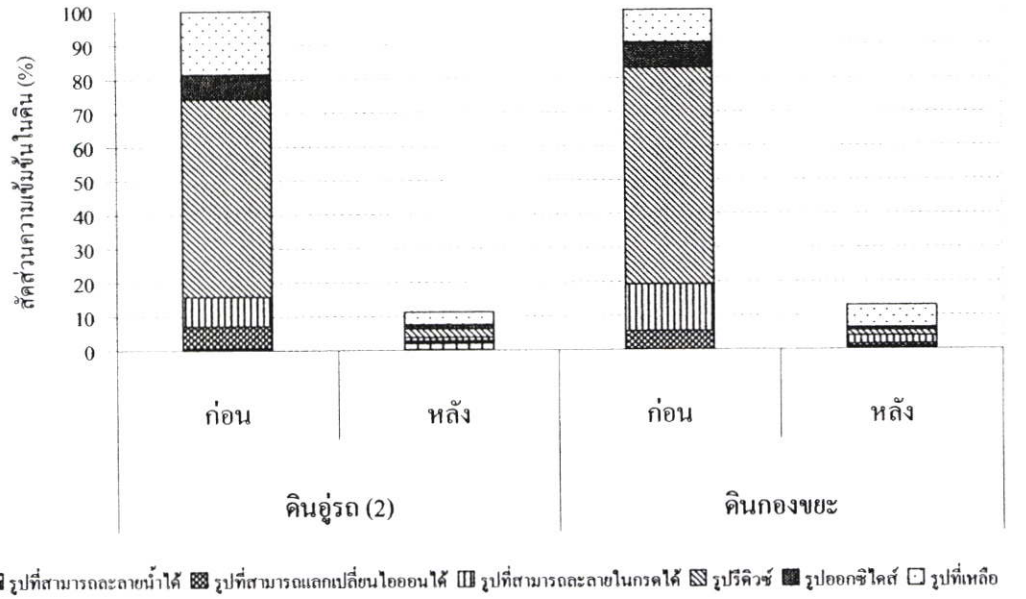
รูปที่ 4.16 สัดส่วนทองแดงในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะแบบคอลัมน์

รูปที่ 4.16 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังการชะโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์ จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการชะล้างดินในคอลัมน์ดินทั้ง 2 ตัวอย่าง มีทองแดงอยู่ในรูปออกซิไดส์มากที่สุด ซึ่งอยู่ในช่วง 70.46 – 77.41 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาอยู่ในรูปรีดิวซ์และรูปที่เหลือ ซึ่งเมื่อทำการล้างดินด้วยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ พบว่า ในดินอู่รถ (2) ทั้ง 5 รูป ยกเว้น รูปที่สามารถละลายน้ำได้ ถูกชะออกไปทั้งหมด แต่รูปที่สามารถละลายน้ำได้มีปริมาณมากขึ้น ส่วนในดินกองขยะ ทองแดงในรูปที่สามารถละลายในกรดได้ รูปออกซิไดส์และรูปรีดิวซ์ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 83.07 – 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรูปอื่นถูกชะออกมาได้บ้างเล็กน้อย



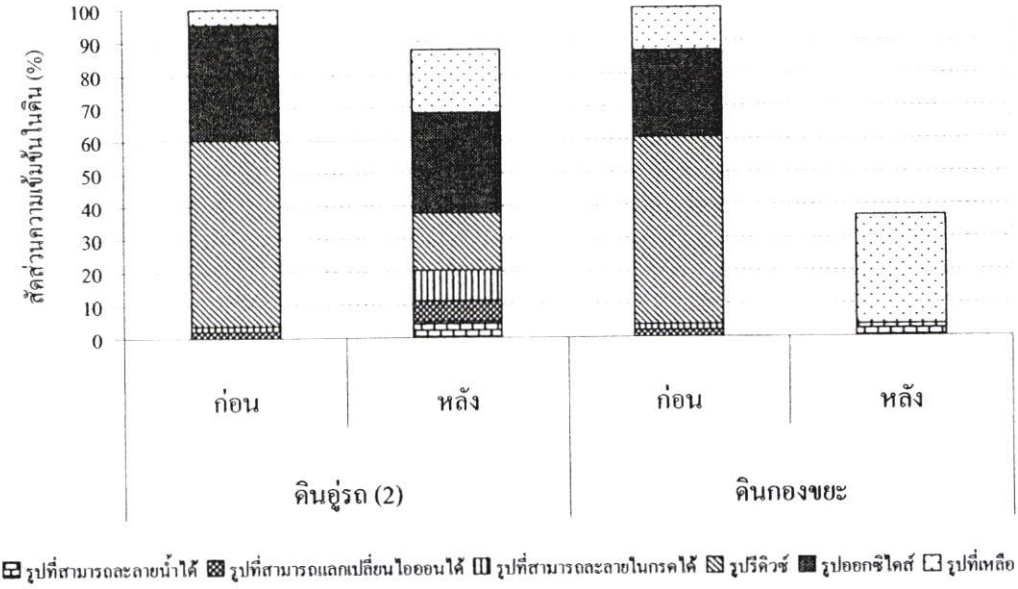
รูปที่ 4.17 สัดส่วนเหล็กในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะแบบคอลัมน์

รูปที่ 4.17 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังการชะโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์ จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการชะล้างดินในคอลัมน์ มีเหล็กอยู่ในรูปที่เหลือมากที่สุด โดยอยู่ในช่วง 40.87 -77.02 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาอยู่ในรูปรีดิวซ์และรูปออกซิไดส์ ซึ่งเมื่อทำการล้างดินด้วยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ พบว่า ในดินอู่รถ (2) เหล็กในรูปที่เหลือ รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปออกซิไดส์และรูปรีดิวซ์ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 84.04 – 94.17 เปอร์เซ็นต์ และในดินกองขยะ เหล็กในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปออกซิไดส์ รูปที่สามารถละลายในกรดได้และรูปรีดิวซ์ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 95.08 – 99.30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรูปที่เหลือถูกชะออกไป 54.32 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.18 สัดส่วนแมงกานีสในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะแบบคอลัมน์

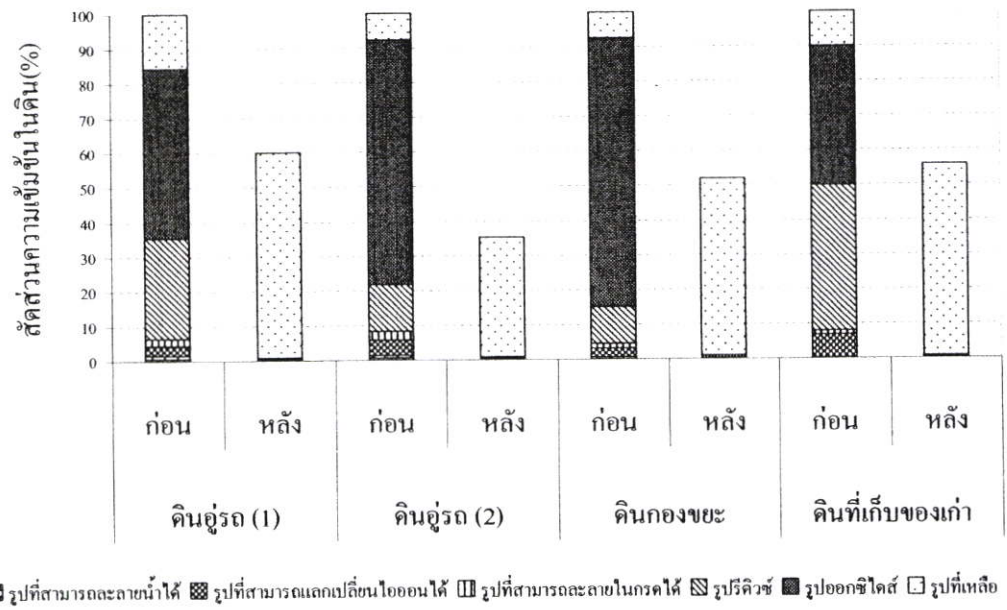
รูปที่ 4.18 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังการชะโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์ จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการล้างดิน มีแมงกานีสอยู่ในรูปรีดิวซ์มากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 58.33 -63.82 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปที่เหลือและรูปที่สามารถละลายในกรดได้ ซึ่งเมื่อทำการล้างดินด้วยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ พบว่า ในดินอู่รถ (2) แมงกานีสในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูป รีดิวซ์ รูปที่สามารถละลายในกรดได้ รูปออกซิไดส์ และรูปที่เหลือสามารถถูกชะออกไปมากที่สุด ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วง 80.03 – 95.93 เปอร์เซ็นต์ และในดินกองขยะ แมงกานีสในรูปรีดิวซ์ รูปออกซิไดส์ รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้และรูปที่สามารถละลายในกรดได้ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 81.83 – 97.51 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.19 สัดส่วนตะกั่วในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะแบบคอลัมน์

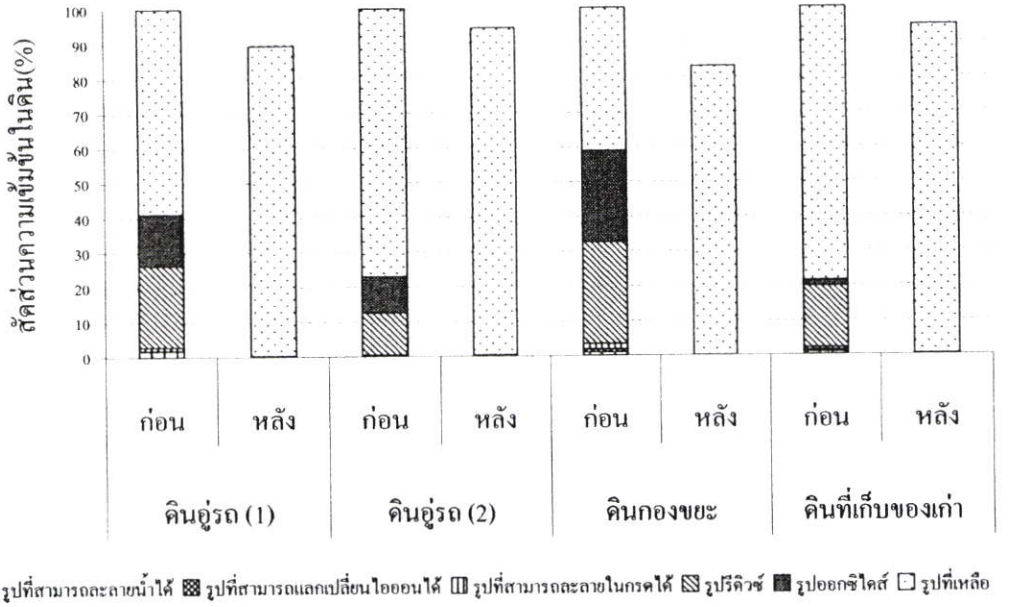
รูปที่ 4.19 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังการชะโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์ จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการล้างดิน มีตะกั่วอยู่ในรูปรีดิวซ์มากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 56.60 -56.88 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปออกซิไดส์ ซึ่งเมื่อทำการล้างดินด้วยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ พบว่า ในดินอู่รถ (2) ตะกั่วในรูปรีดิวซ์ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 69.13 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรูปออกซิไดส์ถูกชะออกมาบ้างเล็กน้อย และในดินกองขยะ แมงกานีสในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่สามารถละลายในกรดได้ รูปรีดิวซ์และรูปออกซิไดส์ ถูกชะออกไปทั้งหมด จากกราฟจะเห็นว่า แมงกานีสในรูปที่เหลือและรูปที่สามารถละลายน้ำได้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแมงกานีสในรูปอื่นๆ เปลี่ยนมาเป็นแมงกานีสในรูปที่เหลือ และสารละลายโซเดียมอีดีทีเอเข้าไปทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างตะกั่วกับดิน ทำให้ตะกั่วสามารถละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น

ผลการทดลองการใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในการชะแบบครั้ง แสดงดังรูปที่ 4.20 -4.23 (ภาคผนวก ฉ.13- ฉ.18)



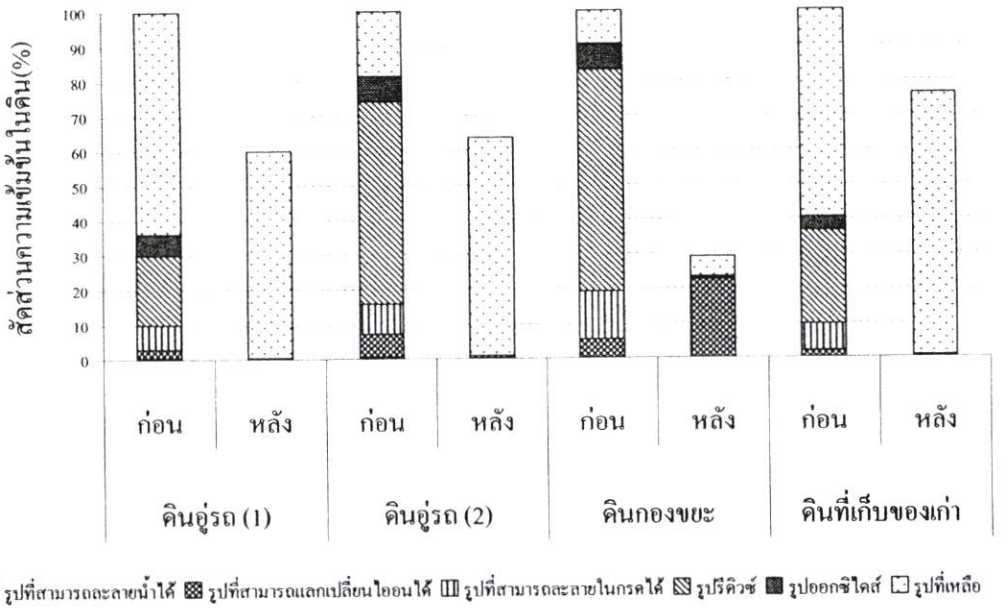
รูปที่ 4.20 สัดส่วนทองแดงในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน

รูปที่ 4.20 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังทำการชะทองแดงออกจากดินตัวอย่างแบบครั้ง จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการชะทองแดง มีทองแดงอยู่ในรูปออกซิไดซ์มากที่สุด ซึ่งอยู่ในช่วง 40-77.4 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาจะอยู่ในรูปรีดิวซ์ และ รูปที่เหลือ ซึ่งเมื่อทำการชะทองแดงด้วยสารละลายผสมแล้ว พบว่า ทองแดงในรูปออกไซด์และ รูปรีดิวซ์ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 99.3 – 99.7 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาจะอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ และ รูปที่สามารถละลายในกรด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 95 – 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในรูปที่สามารถละลายในน้ำ ของดินบริเวณอู่รถ(1) ดินอู่รถ (2) และดินที่เก็บของเก่า ถูกชะออกไปได้บางส่วน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 86.4 – 86.8 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่รูปที่เหลือของดินบริเวณที่เก็บของเก่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 73 – 82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุก็เกิดจากการที่ทองแดงเกิดการเปลี่ยนรูปจากรูปอื่น ๆ มาอยู่ในรูปที่เหลือหลังจากที่ทำการล้างดิน และรูปที่เหลือนั้นมีการยึดเกาะกับพวกซิลิเกตที่มีความแข็งแรงของพันธะสูง



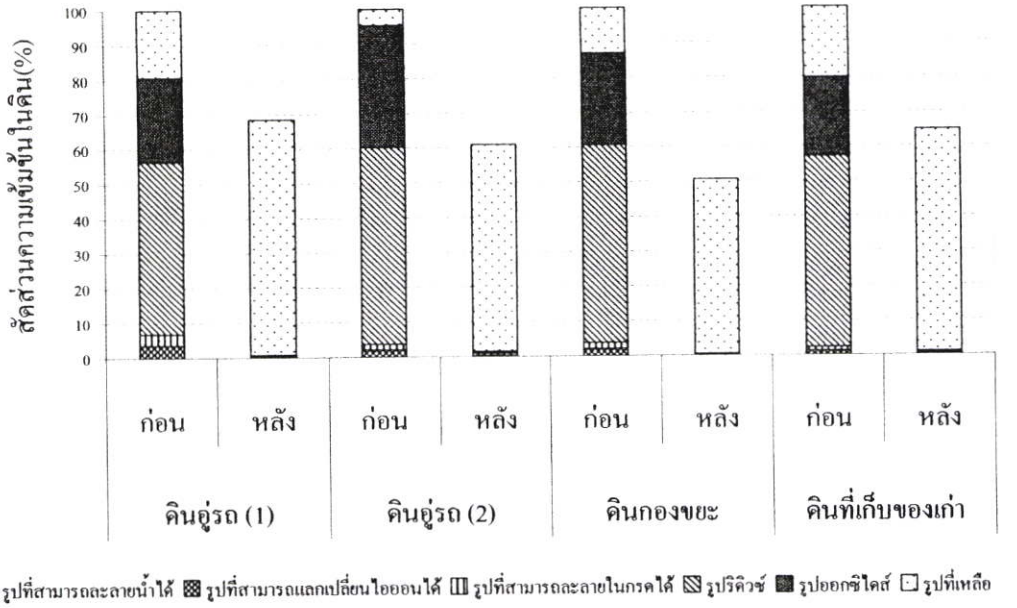
รูปที่ 4.21 สัดส่วนเหล็กในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน

รูปที่ 4.21 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังทำการชะเหล็กออกจากดินตัวอย่างแบบครั้ง จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการชะเหล็ก มีเหล็กอยู่รูปที่เหลืออยู่มากที่สุด โดยมีอยู่ประมาณ 58 – 94 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาจะอยู่ในรูปรีดิวซ์ และ รูปออกไซด์ ซึ่งเมื่อทำการชะเหล็กด้วยสารละลายผสม พบว่า เหล็กในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่สามารถละลายในกรดได้ รูปรีดิวซ์ และ รูปออกไซด์ ถูกชะไปมากที่สุดซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 97 – 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรูปที่สามารถละลายน้ำได้ และ รูปที่สามารถละลายได้ในกรด ถูกชะออกได้เพียงบางส่วน ขณะที่รูปที่เหลือ เมื่อทำการชะแล้ว พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เหล็กมีการเปลี่ยนจากรูปอื่นมาอยู่ในรูปที่เหลือ ซึ่งเป็นรูปเหล็กยึดเกาะกับคาร์บอเนต ซัลเฟต และออกไซด์ด้วยกลไกต่าง เช่น การดูดซับ การเกิดสารเชิงซ้อน จึงยากที่โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จะไปรีดิวซ์หรือลดแรงพันธะของเหล็กได้ทั้งหมด ทำให้เหล็กไม่สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับอีดีทีเอได้



รูปที่ 4.22 สัดส่วนแมงกานีสในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน

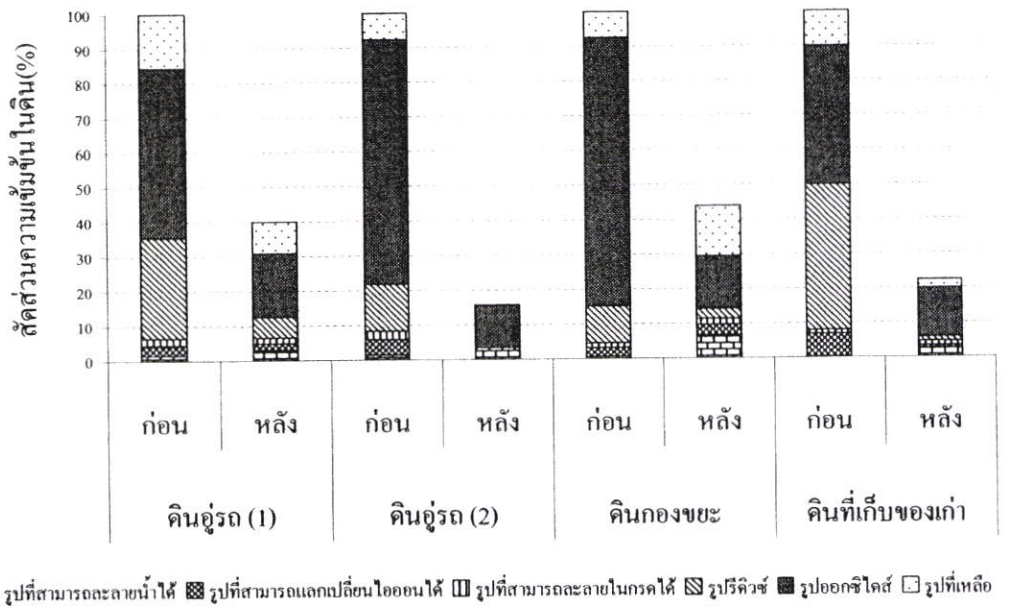
รูปที่ 4.22 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังทำการชะแมงกานีสออกจากดินตัวอย่างแบบครั้ง จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการชะแมงกานีส ในดินบริเวณอู่รถ (1) และที่เก็บของเก่า มีแมงกานีสอยู่ในรูปที่เหลืออยู่มากที่สุด โดยมีปริมาณ 59.6-63.8 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ในดินบริเวณอู่รถ (2) และ กองขยะ มีแมงกานีสในรูปที่ถูกรีดิวซ์มากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 58.3 -63.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการชะด้วยสารละลายผสมแล้ว พบว่า แมงกานีสในรูปที่สามารถละลายในกรด รูปรีดิวซ์ และ รูปออกไซด์ ของดินทั้งสี่ชนิด และ รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ ของดินบริเวณอู่รถ (1) ดินอู่รถ (2) และดินที่เก็บของเก่า ถูกชะออกมาได้มากที่สุด อยู่ในช่วง 97 – 99 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแมงกานีสในรูปเหล่านี้มีแรงยึดเกาะกับอนุภาคดินอ่อน จึงทำให้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถชะเอาโลหะหนักออกมาได้ และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถเปลี่ยนรูปแมงกานีส (Mn^{4+}) ให้อยู่ในรูปแมงกานีส (Mn^{2+}) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ง่ายขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535)



รูปที่ 4.23 สัดส่วนตะกั่วในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน

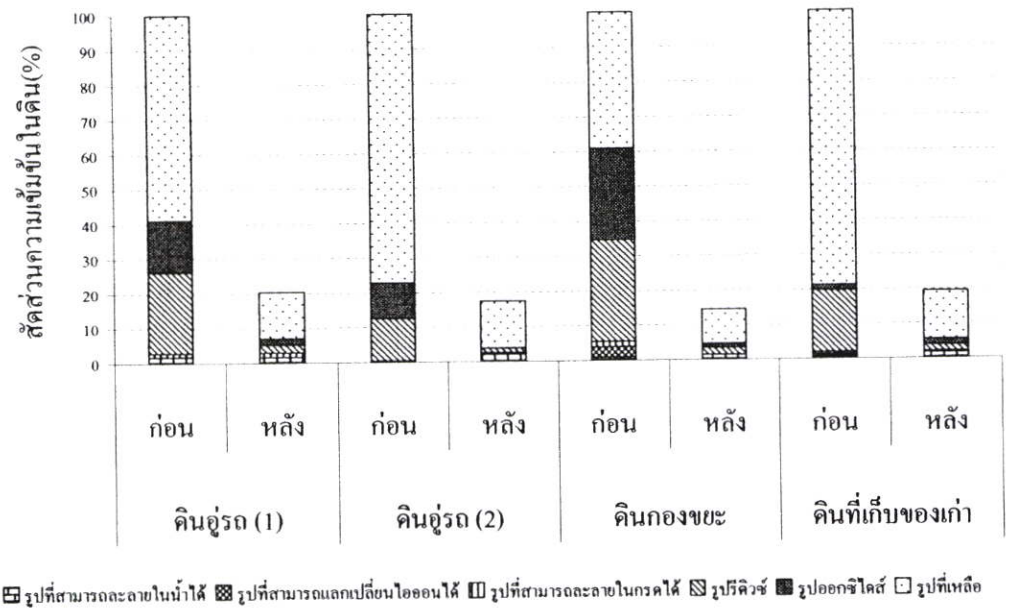
รูปที่ 4.23 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นก่อนและหลังทำการชะล้างตะกั่วออกจากดินตัวอย่างแบบครั้ง จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการชะตะกั่ว มีตะกั่วอยู่ในรูปรีดิวซ์มากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 49.6-56.9 รองลงมาจะอยู่ในรูปออกซิไดส์และ รูปที่เหลือ เนื่องจาก ตะกั่วส่วนใหญ่ในดินตามธรรมชาติจะดูดซับอยู่กับผิวดินด้วยพันธะทางเคมี และภายในชั้นดินโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับผิวของแมงกานีส และเหล็กออกไซด์ในดิน (Abumaizar, 1999) เมื่อทำการชะด้วยสารละลายผสม พบว่า ตะกั่วในรูปรีดิวซ์ถูกชะออกมาได้มากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 98 – 100 % ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ จะเข้าไปรีดิวซ์ตะกั่วที่อยู่ในรูปออกไซด์ให้มีพันธะอ่อนลง ประกอบกับในระหว่างที่ทำการชะค่าพีเอช มีค่าน้อยกว่า 3 ด้วยทำให้ประสิทธิภาพของการรีดิวซ์ที่เป็นโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์มีค่าดียิ่งขึ้น (Tessier, 1997) ทำให้สามารถชะตะกั่วออกมาได้ง่ายและเกิดสารเชิงซ้อนกับอีดีทีเอเป็นจำนวนมาก รองลงมา คือ รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่สามารถละลายในกรดได้ และ รูปออกไซด์ มีค่าอยู่ในช่วง 95 – 99 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองการใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในการชะแบบคอลัมน์ แสดงดังรูป 4.24 – 4.27 (ภาคผนวก ฉ.19- ฉ.24)



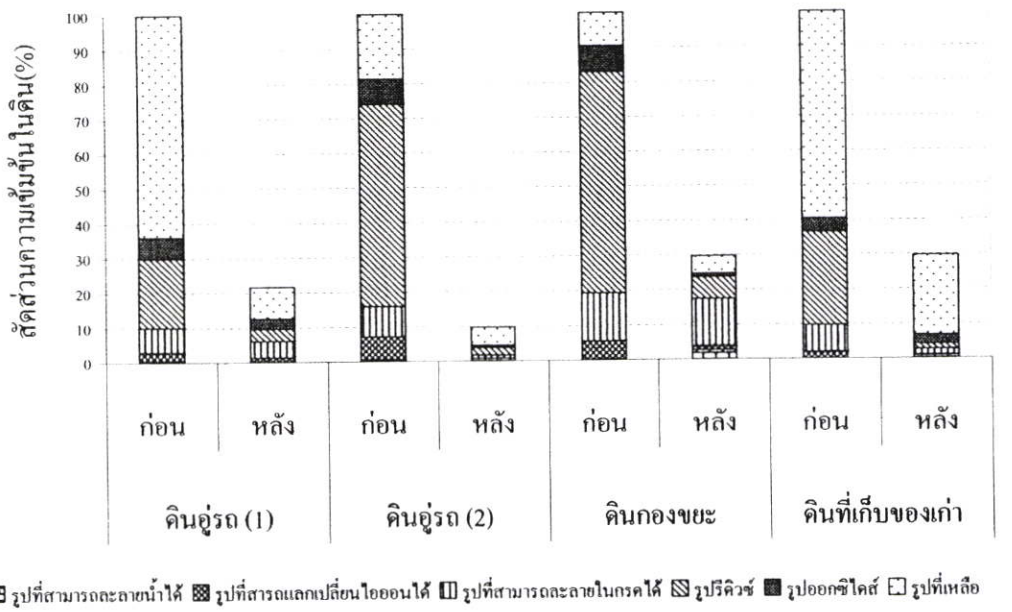
รูปที่ 4.24 สัดส่วนทองแดงในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะแบบคอลัมน์

รูปที่ 4.24 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังการชะโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์ จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการล้างดิน มีทองแดงอยู่ในรูปออกซิไดส์มากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 40.08 – 77.41 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปรีดิวซ์และรูปที่เหลือ ซึ่งเมื่อทำการล้างดินด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ พบว่า ในดินอู่รถ (1) ทองแดงในรูป รีดิวซ์และรูปออกซิไดส์ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 62.31 – 79.21 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปที่เหลือ รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่สามารถละลายในกรดได้ และรูปที่สามารถละลายน้ำได้ ตามลำดับ ในดินอู่รถ(2) ทองแดงในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่สามารถละลายในกรดได้ รูปรีดิวซ์และรูปที่เหลือ สามารถชะออกมาได้มากที่สุด คือ 100 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปออกซิไดส์และรูปที่สามารถละลายน้ำได้ ในดินกองขยะ ทองแดงในรูป ออกซิไดส์และรีดิวซ์ ถูกชะออกไปมากที่สุด เช่นเดียวกับดินอู่รถ (1) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 73.00 – 80.26 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินที่เก็บของเก่า ทองแดงในรูปรีดิวซ์และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 88.38 -97.00 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปออกซิไดส์ จากกราฟจะเห็นว่าในดินทั้ง 4 ชนิด ทองแดงในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ จะเพิ่มมากขึ้นหลังถูกชะด้วยสารละลายผสม เนื่องจากเมื่อทำการล้างดินสารละลายเข้าไปทำลายพันธะระหว่างโลหะกับดิน ทำให้ทองแดงสามารถละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น



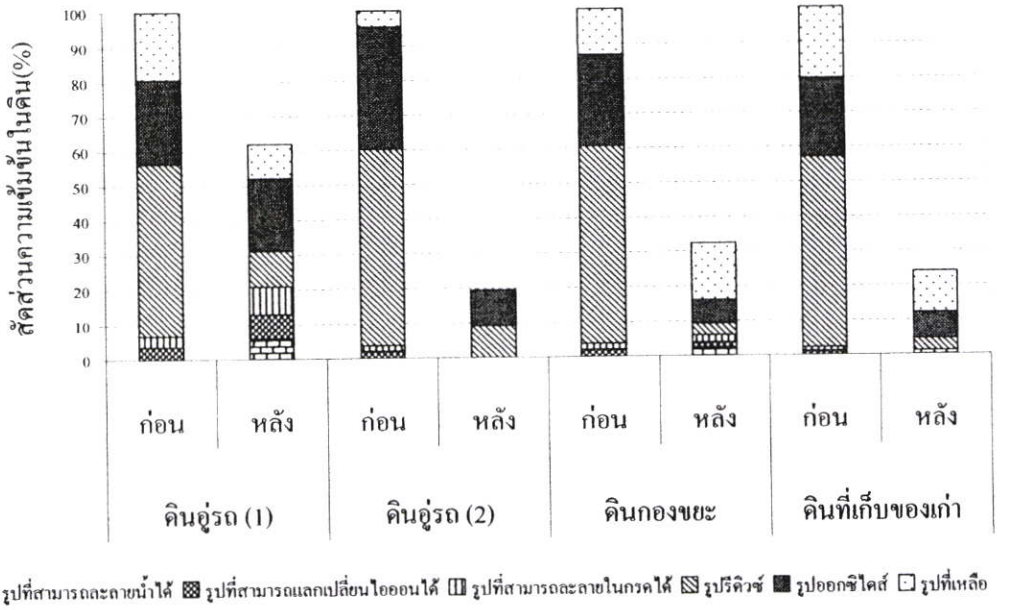
รูปที่ 4.25 สัดส่วนเหล็กในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะแบบคอลัมน์

รูปที่ 4.25 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังการชะโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์ จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการล้างดินในดินทั้ง 4 ตัวอย่าง มีเหล็กอยู่ในรูปที่เหลือมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 40.87 – 78.60 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปรีดิวซ์และรูปออกซิไดส์ ซึ่งเมื่อทำการล้างดินด้วยสารละลายผสม พบว่า ในดินอู่รถ (1) เหล็กในรูปรีดิวซ์และออกซิไดส์ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่าง 87.84 – 90.54 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปที่เหลือและรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ ส่วนในรูปอื่นถูกชะออกมาบ้างเล็กน้อย ในดินอู่รถ (2) เหล็กในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปออกซิไดส์ รูปรีดิวซ์และรูปที่เหลือ ทั้ง 4 รูป ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 82.45 -100 เปอร์เซ็นต์ ในดินกองขยะ เหล็กทั้ง 5 รูป ยกเว้นรูปที่สามารถละลายน้ำได้ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 75.95 – 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในดินที่เก็บของเก่า เหล็กในรูปรีดิวซ์ รูปที่เหลือ และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งอยู่ในช่วง 81.13 -85.09 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปที่สามารถละลายในกรดได้ จากกราฟจะเห็นในดินทั้ง 4 ตัวอย่าง หลังการลงคอลัมน์ เหล็กในรูปที่เหลือมีสัดส่วนมากกว่ารูปอื่นๆ อาจเป็นเพราะเหล็กในรูปที่เหลือสามารถยึดเกาะกับผิวดินได้ดีกว่ารูปอื่นๆ



รูปที่ 4.26 สัดส่วนแมงกานีสในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะแบบคอลัมน์

รูปที่ 4.26 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังการชะโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์ จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการล้างดิน ในดินอู่รถ (1)และดินที่เก็บของเก่า มีแมงกานีสอยู่ในรูปที่เหลือมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 59.59 – 63.89 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในดินอู่รถ (2)และดินกองขยะ มีแมงกานีสอยู่ในรูปรีดิวซ์มากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 58.33 -63.82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อทำการล้างดินด้วยสารละลายผสม พบว่า ในดินอู่รถ (1) แมงกานีสในรูปที่เหลือและรูปรีดิวซ์ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 82.30 -85.65 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปออกซิไดส์ รูปที่สามารถละลายในกรดได้และรูปที่สามารถละลายน้ำได้ ตามลำดับ ในดินอู่รถ (2) แมงกานีสทั้ง 5 รูป ยกเว้นรูปที่สามารถละลายน้ำได้ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 71.68 – 100 เปอร์เซ็นต์ ในดินกองขยะ แมงกานีสในรูป รีดิวซ์ รูปออกซิไดส์และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ ถูกชะออกมามากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 77.80 – 90.16 เปอร์เซ็นต์ รองลง คือ รูปที่เหลือ ส่วนอีก 2 รูปถูกชะออกมาบ้างเล็กน้อย และในดินที่เก็บของเก่า แมงกานีสในรูปรีดิวซ์ รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่สามารถละลายในกรดได้และรูปที่เหลือ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 61.52 – 94.27 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรูปอื่นถูกชะออกมาบ้างเล็กน้อย



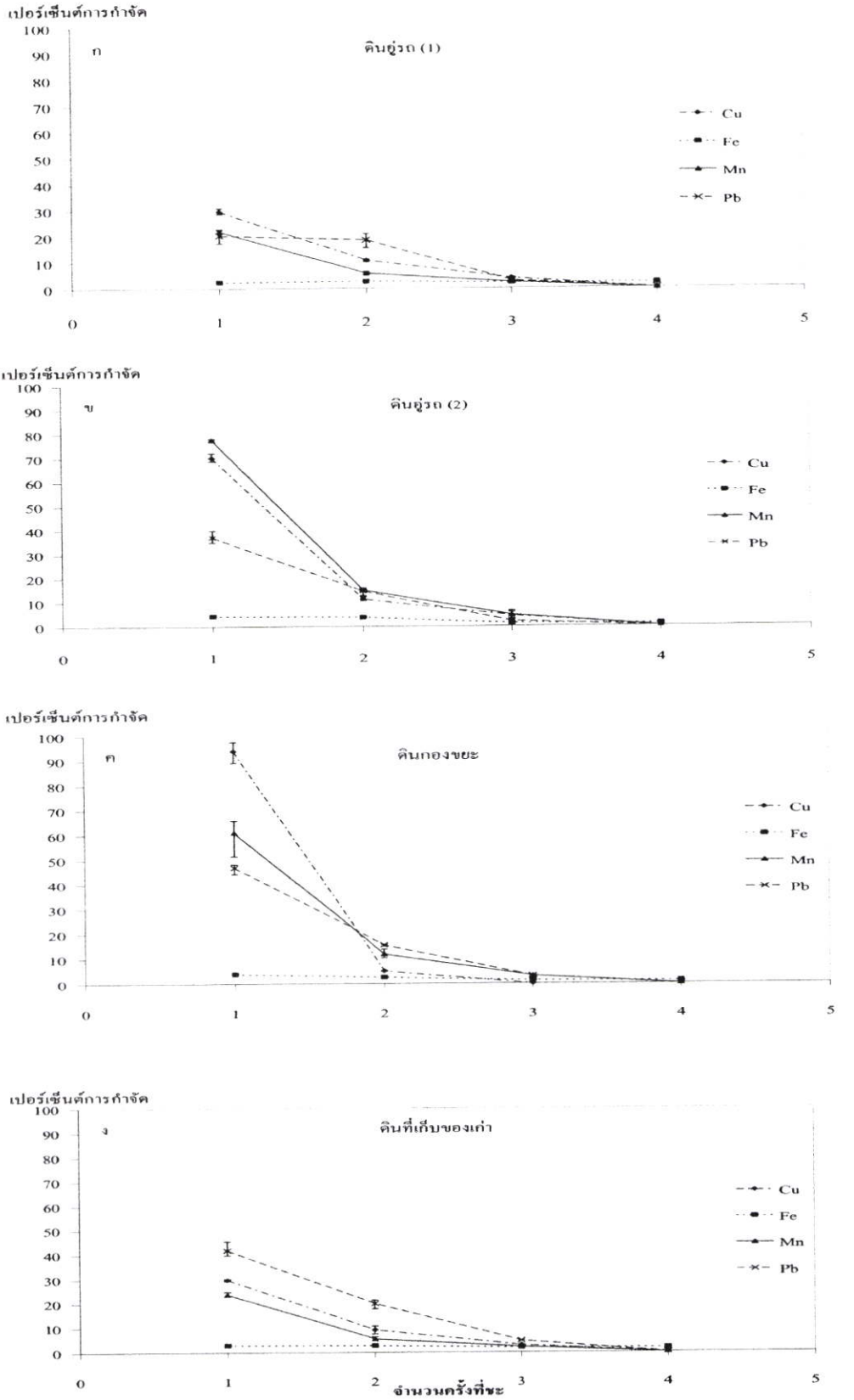
รูปที่ 4.27 สัดส่วนตะกั่วในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะแบบคอลัมน์

รูปที่ 4.27 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นทั้งก่อนและหลังการชะโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์ จากรูปจะเห็นว่า ก่อนทำการล้างดิน มีตะกั่วอยู่ในรูปรีดิวซ์มากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 45.56 – 56.88 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปออกซิไดส์และรูปที่เหลือ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 24.28 – 35.08 และ 4.56 – 20.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการล้างดินด้วยสารละลายผสม พบว่า ในดินอู่รถ (1) ตะกั่วในรูปรีดิวซ์ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 77.93 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ รูปที่เหลือและรูปออกซิไดส์ ในดินอู่รถ (2) ตะกั่วทั้ง 5 รูป ยกเว้นรูปที่สามารถละลายน้ำได้ ถูกชะออกมามากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 70.90 -100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมือนกับแมงกานีส ในดินกองขยะ ตะกั่วในรูปรีดิวซ์และรูปออกซิไดส์ ถูกชะออกไปมากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 70.76 -93.09 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรูปอื่นๆ ถูกชะออกมาบ้างเล็กน้อย และในดินที่เก็บของเก่า ทั้ง 4 รูป ยกเว้นตะกั่วในรูปที่สามารถละลายน้ำได้และรูปที่เหลือ ถูกชะออกมามากที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 65.94 – 100 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟพบว่าก่อนทำการชะไม่พบรูปที่สามารถละลายน้ำได้ แต่หลังชะในดินอู่รถ (1) ดินกองขยะและดินที่เก็บของเก่า พบว่ามีปริมาณมากขึ้น อาจเป็นเพราะเมื่อทำการล้างดินสารละลายเข้าไปทำลายพันธะของตะกั่วที่ยึดติดกับดิน จึงทำให้ตะกั่วละลายน้ำได้มากขึ้น

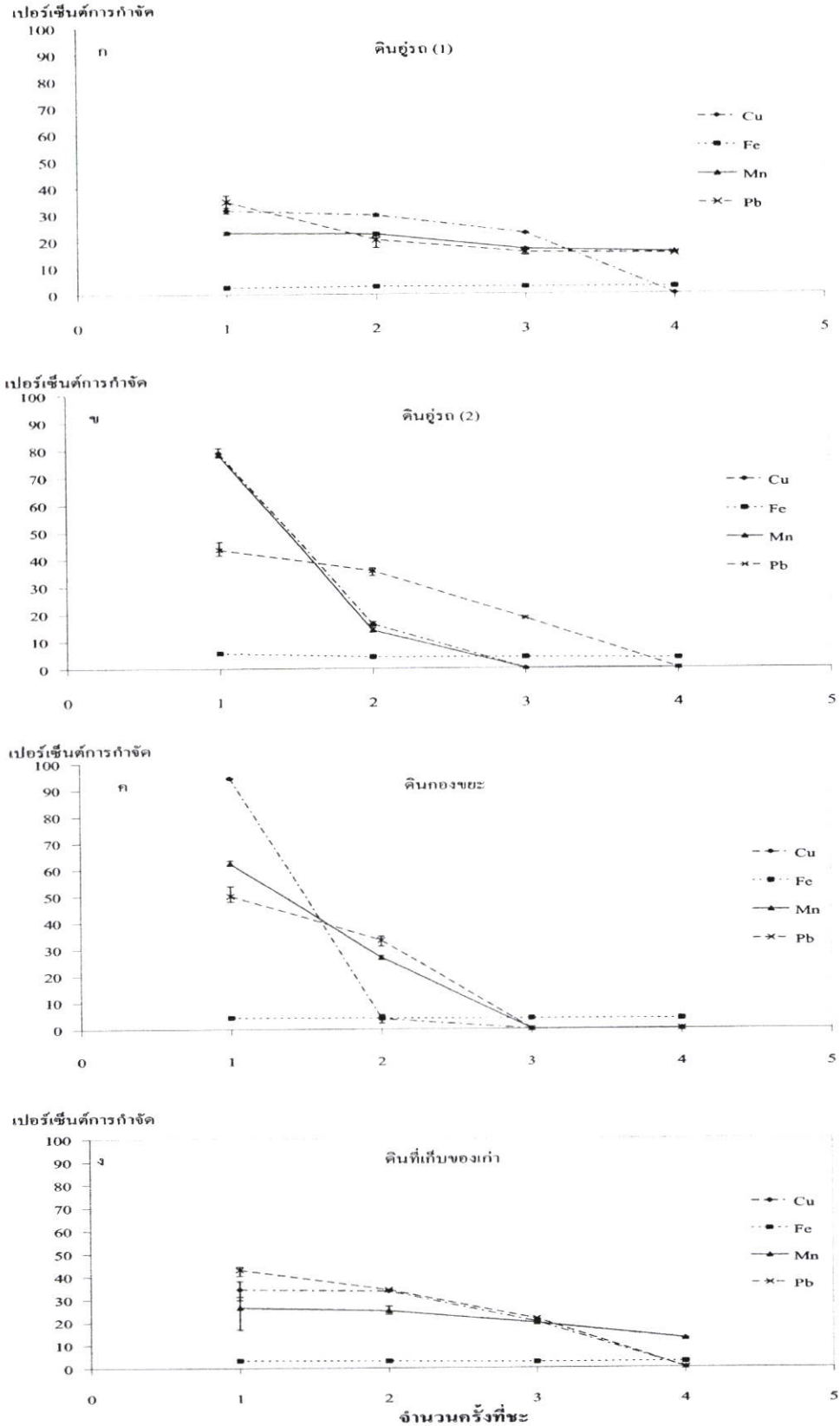
4.5 การนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่

จากการทดลองนำสารละลาย 0.15 M โซเดียมอีดีทีเอ และสารละลายผสมระหว่าง 0.25 M โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และ 0.10 M โซเดียมอีดีทีเอ ที่ใช้แล้วมาทำการชะล้างโลหะหนักออก โดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารละลาย $Ca(OH)_2$ 50 % (w/v) แล้วนำสารละลายที่ตกตะกอนโลหะหนักออกแล้วมาล้างดินที่ปนเปื้อนเดิม จนมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐาน ได้ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.28 – 4.29 (ภาคผนวก จ.25-จ.28 และภาคผนวก ฉ.25- ฉ.28)

จากรูปที่ 4.28 (ก – ง) เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอกำจัดโลหะ พบว่า สำหรับดินอู่รถ (1) และดินกองขยะ ในครั้งแรกที่ทำการชะโลหะ ประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงมีค่าสูงสุด รองลงมา คือ แมงกานีส ตะกั่ว และเหล็ก สำหรับดินอู่รถ (2) ประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีส มีค่าสูงสุด รองลงมา คือ ทองแดง ตะกั่วและเหล็ก และสำหรับดินที่เก็บของเก่า ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว มีค่าสูงสุด รองลงมา คือ ทองแดง แมงกานีส และตะกั่ว หลังจากตกตะกอนโลหะหนักออก แล้วนำมาชะโลหะในดินเดิมครั้งที่ 2 ประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะลดลงอย่างเห็นได้ชัดในทุกดินตัวอย่าง ในการชะครั้งที่ 3 ประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะลดลงจนมีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่น้อยมาก และในการชะครั้งที่ 4 เหล็กตัวเดียวที่สามารถวัดค่าได้ อาจเนื่องมาจากในดินตัวอย่างทุกชนิดมีปริมาณเหล็กอยู่มาก แต่ประสิทธิภาพการกำจัดก็มีค่าน้อยมาก เมื่อรวมเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะของดินตัวอย่าง พบว่า สำหรับดินอู่รถ (1) และ ดินที่เก็บของเก่า ทองแดงมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอยู่ในช่วง 41.82-44.07 เปอร์เซ็นต์ และแมงกานีส มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอยู่ในช่วง 29.92-31.37 เปอร์เซ็นต์ สำหรับดินอู่รถ (2) และ ดินกองขยะ มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอยู่ในช่วง 85.52-98.95 เปอร์เซ็นต์ และแมงกานีสมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอยู่ในช่วง 76.04-97.11 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเปอร์เซ็นต์การกำจัดของเหล็กและตะกั่ว ของดินทั้ง 4 ตัวอย่าง มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่ไม่แตกต่างกันมาก คือ มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอยู่ในช่วง 8.86-9.97 เปอร์เซ็นต์ และ 41.79-66.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



รูปที่ 4.28 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 4.29 การนำสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กลับมาใช้ใหม่

จากรูปที่ 4.29 (ก – ง) เมื่อใช้สารละลายผสมกำจัดโลหะ พบว่า สำหรับดินอู่รถ (1) ครั้งแรกที่ทำการชะโลหะประสิทธิภาพในการชะตะกั่วมีค่าสูงสุด รองลงมา คือ ทองแดง แมงกานีส และเหล็ก ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 34.81, 31.57, 23.09 และ 2.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หลังจากตกตะกอนโลหะหนักออก แล้วนำมาชะโลหะในดินเดิมครั้งที่ 2 ประสิทธิภาพในการชะทองแดงมีค่าสูงสุด รองลงมา คือ แมงกานีส ตะกั่วและเหล็ก มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 29.66, 22.53, 20.35 และ 2.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งในครั้งนี้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะมีค่าลดลงแต่มีค่าไม่มากเมื่อเทียบกับการใช้เพียงสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ เมื่อนำดินไปชะโลหะเป็นครั้งที่ 3 ประสิทธิภาพในการชะทองแดงมีค่าสูงสุดรองลงมา คือ แมงกานีส ตะกั่ว และเหล็ก ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 22.68, 16.72, 15.54 และ 2.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำดินไปล้างโลหะด้วยสารละลายเป็นครั้งที่ 4 แมงกานีสเป็นโลหะที่มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงสุด รองลงมา คือ ตะกั่ว และเหล็ก ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 15.52, 14.93 และ 2.68 เปอร์เซ็นต์ สำหรับดินอู่รถ (2) ครั้งแรกที่ทำการชะ ประสิทธิภาพในการชะทองแดงมีค่าสูงสุด รองลงมา คือ แมงกานีส ตะกั่ว และเหล็ก ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 78.93, 78.25, 43.61 และ 5.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หลังจากตกตะกอนโลหะหนักออก แล้วนำมาชะโลหะในดินเดิมครั้งที่ 2 ประสิทธิภาพในการชะตะกั่วมีค่าสูงสุด รองลงมา คือ ทองแดง แมงกานีส และเหล็ก มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 35.67, 16.23, 14.00 และ 4.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อนำดินไปชะโลหะเป็นครั้งที่ 3 โลหะที่ทำการวัดค่า มี 2 ตัว คือ ตะกั่วและเหล็ก ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 18.40 และ 4.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำดินไปล้างโลหะด้วยสารละลายเป็นครั้งที่ 4 เหล็ก มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 3.65 สำหรับดินกองขยะ ครั้งแรกที่ทำการชะประสิทธิภาพในการชะทองแดงมีค่าสูงสุดรองลงมา คือ ตะกั่ว แมงกานีส และเหล็ก ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 94.45, 43.01, 26.43 และ 4.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หลังจากตกตะกอนโลหะหนักออก แล้วนำมาชะโลหะในดินเดิมครั้งที่ 2 ประสิทธิภาพในการชะตะกั่วมีค่าสูงสุด รองลงมา คือ แมงกานีส ทองแดง และเหล็ก มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 34.10, 24.96, 3.80 และ 4.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อนำดินไปชะโลหะเป็นครั้งที่ 3 เปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าลดลง โดยตะกั่วมีประสิทธิภาพในการชะสูงสุด รองลงมา คือ แมงกานีส และเหล็ก ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 21.42, 18.93 และ 3.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำดินไปล้างโลหะด้วยสารละลายเป็นครั้งที่ 4 แมงกานีสและเหล็กมีเปอร์เซ็นต์การกำจัด เท่ากับ 12.22 และ 3.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสำหรับดินที่เก็บของเก่าครั้งแรกที่ทำการชะประสิทธิภาพในการชะแมงกานีสมีค่าสูงสุด รองลงมา คือ ตะกั่ว ทองแดงและเหล็ก ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 62.22, 50.02, 34.39 และ 3.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หลังจากตกตะกอนโลหะหนักออก แล้วนำมาชะโลหะในดินเดิมครั้งที่ 2 ประสิทธิภาพในการชะทองแดงมีค่าสูงสุด รองลงมา คือ ตะกั่ว แมงกานีส และเหล็ก มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 33.55, 33.33, 26.83 และ 2.98 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำดินไปชะโลหะเป็นครั้งที่ 3 ทองแดงและเหล็ก มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 20.09 และ 1.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำดินไปล้างโลหะด้วย

สารละลายเป็นครั้งที่ 4 เหล็กเป็นโลหะเดียวที่วัดค่าได้ แต่ก็มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่น้อย คือเท่ากับ 2.59 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.28 – 4.29 จะเห็นได้ว่าในการชะครั้งแรกสารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมอีดีทีเอมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอเพียงอย่างเดียว และเมื่อทำการชะครบทั้ง 4 ครั้ง สารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมอีดีทีเอมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอเช่นเดียวกัน ในการชะโลหะด้วยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ในครั้งที่ 3 ประสิทธิภาพของสารละลายลดลงมากเห็นได้จากเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่ลดลงอย่างมาก อาจเนื่องมาจากในการตกตะกอนเอาโลหะหนักออกด้วยสารละลาย $Ca(OH)_2$ สารละลายโซเดียมอีดีทีเออาจตกตะกอนลงมาด้วย จึงทำให้ประสิทธิภาพของสารละลายลดลง แต่สารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมอีดีทีเอ เมื่อสารละลายโซเดียมอีดีทีเอตกตะกอนลงมา ก็ยังมีสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ช่วยในการชะโลหะหนักออกมา

โลหะหนักในดินส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อม ปี 2535 ได้กำหนดไว้ จึงทำการชะโลหะออกมาให้ได้เปอร์เซ็นต์การกำจัดที่มากที่สุด ส่วนโลหะที่มีค่าเกินมาตรฐาน เช่นแมงกานีสในดินอู่รถ (1) เมื่อทำการชะแล้วปริมาณแมงกานีสในดิน ค่าที่ได้ก็ไม่เกินค่ามาตรฐาน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

ดินตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด มีลักษณะเนื้อดินที่คล้ายกัน คือ เป็นดินทรายร่วน และคุณสมบัติทางเคมี เช่น ค่า pH ค่า CEC ก็มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ดินตัวอย่างแต่ละชนิดมีปริมาณโลหะหนักที่ต่างกัน คือ ทองแดงและตะกั่วมีมากในดินที่เก็บของเก่า เหล็กและแมงกานีสมีมากในดินอู่รถ (1)

5.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะออกจากดินแบบครั้งโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

5.1.2.1 หาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ

ทำการกำจัดโลหะหนักออกจากดินตัวอย่างจาก 4 แห่ง โดยแปรผันความเข้นข้นของสารละลายที่ใช้ในการชะ โดยสารละลายที่ใช้ในการสกัดมี 2 ชนิด คือ สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซดียมเมตาไบซัลไฟต์ สำหรับการทดลองทุกตัวอย่างดิน จะเห็นได้ว่า ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมหรือความเข้มข้นที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะสูงสุด คือ 0.15 M โซเดียมอีดีทีเอ และสารละลายผสมระหว่าง 0.10 Mโซเดียมอีดีทีเอและ 0.25 Mโซดียมเมตาไบซัลไฟต์

5.1.2.2 หาค่าอัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ

ทำการกำจัดโลหะหนักออกจากดินตัวอย่างจาก 4 แห่ง โดยแปรผันค่าอัตราส่วนของดินต่อสารละลาย ดังนี้ คือ ดิน 1 กรัม ต่อ สารละลาย 5 มิลลิลิตร , 1กรัม ต่อ 10 มิลลิลิตร , 1 กรัม ต่อ 12 มิลลิลิตร, 1กรัม ต่อ 20 มิลลิลิตร และ 1กรัม ต่อ 30 มิลลิลิตร โดยสารละลายที่ใช้ในการสกัดมี 2 ชนิด คือ สารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ จากการทดลองพบว่า ได้ค่าอัตราส่วนดินต่อสารละลายที่เหมาะสม คือ ดิน 1 กรัม ต่อ สารละลาย 30 มิลลิลิตร เหมือนกันทั้งสองสารละลาย

5.1.3 การทดสอบประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์โดยใช้สารละลายอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอในการกำจัดโลหะออกจากดินอู่รถ (1) และดินกองขยะ จะพบว่า ทองแดงถูกกำจัดออกมามากที่สุด รองลงมา คือ ตะกั่ว แมงกานีส และเหล็ก สำหรับการทดลองกับดินอู่รถ (2) จะเห็นว่า แมงกานีสถูกชะออกไปมากที่สุด รองลงมา คือ ทองแดง ตะกั่ว และเหล็ก และสำหรับการทดลองกับดินที่เก็บของเก่า จะเห็นว่า ตะกั่วถูกชะออกไปมากที่สุด รองลงมา คือ แมงกานีส ทองแดงและเหล็ก เมื่อใช้สารละลายผสมในการกำจัดโลหะออกจาก ดินตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด จะพบว่าประสิทธิภาพในการชะโลหะแต่ละชนิดได้ไม่เท่ากัน แต่ในการทดลองทุกดินตัวอย่างเมื่อใช้ทั้งสารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมจะให้ผลที่เหมือนกัน คือ เหล็กถูกชะออกไปได้น้อยที่สุด

5.1.4 การทดสอบหาสัดส่วนต่างๆ ของโลหะหนักในรูปต่างๆ ในดิน

ก่อนทำการชะล้างโลหะ พบว่า ดินอู่รถ(1) ทองแดงและตะกั่วพบมากในรูปที่ถูกออกซิไดส์ ส่วนแมงกานีสและเหล็กมีปริมาณอยู่ในรูปที่เหลือมากที่สุด ดินอู่รถ (2) แมงกานีสและตะกั่วพบมากในรูปรีดิวซ์ ทองแดงส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ออกซิไดส์ได้ และเหล็กอยู่ในรูปที่เหลือมากที่สุด ดินกองขยะ แมงกานีสอยู่ในรูปที่ถูกรีดิวซ์มากที่สุด ทองแดงอยู่ในรูปออกซิไดส์มากที่สุด ในขณะที่ตะกั่วอยู่ในรูปรีดิวซ์และออกซิไดส์มากที่สุด และเหล็กอยู่ในรูปที่เหลือมากที่สุด ดินที่เก็บของเก่า ทองแดงอยู่ในรูปรีดิวซ์เป็นส่วนใหญ่ ตะกั่วอยู่ในรูปออกซิไดส์ เหล็กและแมงกานีสอยู่ในรูปที่เหลือมากที่สุด

หลังการชะล้างโลหะแบบครั้ง พบว่า สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ มีประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักในรูปที่ละลายน้ำได้ และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าโลหะหนักในรูปอื่น ๆ และสารละลายผสมมีประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักในรูปรีดิวซ์ รูกออกซิไดส์และรูปที่เหลือ ได้มากกว่ารูปอื่นๆ และ หลังการชะแบบคอลัมน์ พบว่า สารละลายโซเดียมอีดีทีเอมีประสิทธิภาพชะล้างโลหะหนักออกมาได้ดีในรูปรีดิวซ์ รูปออกซิไดส์ รูปที่สามารถละลายในกรดได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ และสารละลายผสม รูปรีดิวซ์ รูปออกซิไดส์ เป็นรูปที่ถูกชะออกมามากกว่ารูปอื่นๆ

5.1.5 การนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่

สารละลายโซเดียมอีดีทีเอสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด 4 ครั้ง โดยในครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะลดลงมาก และในครั้งที่ 4 สารละลายโซเดียมอีดีทีเอสามารถกำจัดได้เพียงเหล็กเท่านั้น และสารละลายผสม สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 4 ครั้งเช่นเดียวกัน แต่ประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะลดลงเล็กน้อยเมื่อนำกลับมาชะล้างโลหะครั้งต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรนำค่าความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมจากการทดลองนี้ ไปกำจัดโลหะออกจากดินที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากการทดลองนี้

5.2.2 ลองใช้สารรีดิวซิงชนิดอื่นร่วมกับสารละลายโซเดียมอีดีทีเอในการชะโลหะหนักออกจากดิน อาจจะได้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักที่ดีขึ้น

5.2.3 ในการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ควรลองใช้สารละลายอื่นๆ ที่จะนำมาเป็นสารตกตะกอนโลหะหนักและควรหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนด้วย

5.2.4 การนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ ควรหาความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อปรับความเข้มข้นให้เท่ากับสารละลายเริ่มต้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักให้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.**คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินของกลุ่มเคมีดิน 2**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.กรุงเทพฯ.2535

กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และ อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล. ม.ป.ป. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2**. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.อัดสำเนา.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ . 2546. **ของเสียอันตราย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: นำอักษรการพิมพ์. หน้า 109-110

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2535. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction of soil science).** กรุงเทพฯ. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุสิต มานะจุติ. 2535. **ปฐพีวิทยาทั่วไป.** พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นัทชธีร์ญา ศรีวิริยานุภาพ. 2545. **การล้างดินและกากตะกอนที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยใช้สารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับโซเดียมอีดีทีเอ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

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

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2543. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์วิทยาลัย. หน้า 10

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

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

วไลลักษ์ เชิดสุข. 2544. **การนำโลหะนิกเกิลจากน้ำล้างชิ้นงานที่ผ่านการชุบโลหะกลับมาใช้ใหม่โดยใช้แกลบ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สง่า ชัยกิจวัฒนะ. 2527. **การหาปริมาณตะกั่ว สังกะสี ทองแดง แมงกานีสและแคดเมียมในอาหารแฮมและไส้กรอกโดยวิธี Atomic Absortion Spectrophotometry.** งานวิจัยปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

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

สิริโสภา นิลพันธ์. 2542. **การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียที่รวบรวมได้จากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์โดยวิธีโคแอกกูเลชัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุจิตร พิตรากูล. 2530 . **แหล่งแร่และแร่ในอุตสาหกรรม.** ภาควิชาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 58-108

อุดร จารุรัตน์. 2545 . **วิศวกรรมการประปาและสุขาภิบาล เล่ม 1.** กรุงเทพฯ:ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2542. **การสำรวจดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abumaizer, R.J. and Khan, L.J. 1996. Laboratory investigation of heavy metal removal by soil washing. **J. Air Waste Mange.** Assoc. 46: 765-768

Abumaizer, R.J. and Smith, E.H. 1999. Heavy metal comtaminants removal by soil washing. **J. Hazaed Meter.** (70): 71-86

Allen, H.E., Huang, C.P., Bailey, G.W., Bowers, A.R. 1995. Metal speciation and contamination of soil. **Lewis publishere.** 1st ed., USA.

Ceare, R. 2001. **Engineering and design Precipitation/ Coagulation/ Flocculation.** Washington DC:U.S. Army Crops of Engineers.

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.

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.

Master, G.M. 1991. **Introduction of environmental engineering and science**. America: Prentice-Hall International,Inc.

Mulligan, C.N., Yong, R.N. and Gibbs, B.F. 2001. Remediation technologies for metal contaminated soils and groundwater: an evaluation. **Engineering Geology.** (60): 193-207.

Noyes, R. 1991. **Handbook of Pollution Control Process**. U.S.A.

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): 1-15.

Robert, W. H. 1999. Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils. **Hazardous Materials.** (66): 151-210.

Sawyer, C.N., McCarty, P.L and Parkin, G.F. 1994. **Chemistry for environmental engineering.** 4 th ed., Singpore:McGrow-Hill.

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.

Tessier,A., P.C.G. and Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for speciation trace metal. **Analytical Chemistry**. (5) : 844-851

Tunay,O and Kabda Li,N.I. 1994. Hydroxide precipitation of complexed metals. **Water Research**. (20) : 2117-2124

Voegelin, A., Barmettler, K. and Kretzschmar, R. 2003. Heavy metal release from contaminated soils: comparison of column leaching and batch extraction results. **Journal Environmental Quality**. (32) : 865-875.

Zeng , Q.R., Sauve , S. , Allen , H.E. and Hendershort, W.H. 2005. Recycling EDTA solution used to Remediate metal-polluted soils. **Environmental Pollution.** (133) : 225-231.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์ดิน

ก.1 การวัดค่าพีเอช (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งดินแห้ง 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไป 5 มิลลิลิตร พร้อมบันทึกหมายเลขตัวอย่างดิน
2. กวนให้เข้ากันอย่างน้อย 5 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. ขณะที่ตั้งสารละลายทิ้งไว้ ให้ทำการปรับเทียบเครื่องวัดพีเอชกับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 4 และ 7 (ปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่องวัดพีเอช)
4. จุ่มอิเลคโทรดลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายดินที่ครบตามเวลากวนโดยใช้การหมุนอิเลคโทรดเบาๆ (ระวัง! อิเลคโทรดกระแทกแตกได้) อ่านค่าพีเอช

ก.2 การหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตท 1 N ลงไป 20 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ค้างคืน
2. เขย่าสารละลายดิน 30 นาที โดยใช้เครื่องเขย่าๆ จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง นาน 20 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง
3. ล้างดินออกด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 N ครั้งละ 30 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงแยกส่วยใสออกจนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบดูโดยนำส่วนใสที่ได้จากการล้างแต่ละครั้งประมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองหยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N แอมโมเนียมออก-ซาเลท 10 % และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50 % อย่างละ 2–3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้าเกิดตะกอนหรือสารละลายขุ่น แสดงว่ามีแคลเซียมตกค้างอยู่)
4. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N อีก 1 ครั้งจากนั้นล้างด้วยไอโซโพรพิวแอลกอฮอล์ 7 ครั้ง ๆ ละ 30 มิลลิลิตร โดยนำไปปั่นเหวี่ยงนานประมาณ 3–5 นาทีเพื่อแยกส่วนในออก จนไม่มีคลอ-ไรด์เหลืออยู่ (ทดสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 N 2–3 หยด ถ้ามีตะกอนขาวของ AgCl แสดงว่ามีคลอไรด์เหลืออยู่)
5. นำสารละลายจากข้างต้นทิ้งไปนำตัวอย่างดินที่ได้มาล้างต่อด้วยโซเดียมคลอไรด์ 10 % เพื่อไล่แอมโมเนียมในดิน โดยล้างครั้งละ 30 มิลลิลิตร ซ้ำ 3 ครั้ง นำไปปั่นเหวี่ยง เก็บส่วนใสไว้
6. นำส่วนใสที่ได้จากสารละลายดินมาใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรรวมจนมีปริมาณ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

7. นำสารละลายดินที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียออกมาโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % ลงไป 25 มิลลิลิตร ใส่ใน Kjeldahl flask ที่ปลายคอนเดนเซอร์ (Condenser) จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริกซึ่งใส่อินดิเคเตอร์ผสมไว้ 2-3 หยด กลั่นจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว
8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
9. กลั่นแบลงค์และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

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

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐาน (นอร์มอล)

X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน

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

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมท 1 N ลงไป 10 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต
3. เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้นลงไป 15 มิลลิลิตร เขย่าขวดแก้วเบา ๆ เป็นเวลา 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ดินและน้ำยาทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที
4. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น
5. ไทเทรตสารละลายที่ได้ด้วยน้ำยาเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 N เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทที่เหลือจากปฏิกิริยาจนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ
6. จดปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทและเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้
7. ทำแบลงค์เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ดิน
8. คำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ

การคำนวณ

% Organic carbon = [(B-T)N/B] × [100/77] × 0.003 × [100/X] × 10 ..... (ก.2)

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท

B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์

T = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน

X = น้ำหนักดิน

% Organic matter = % Organic carbon × 1.724 ..... (ก.3)

หรือ % Organic matter = [(B-T)N/B] × [100/77] × [100/58] × 0.003 × [100/X] × 10 (ก.4)

ก.4 การหาค่าความชื้น (นัทชธีร์ญา, 2545)

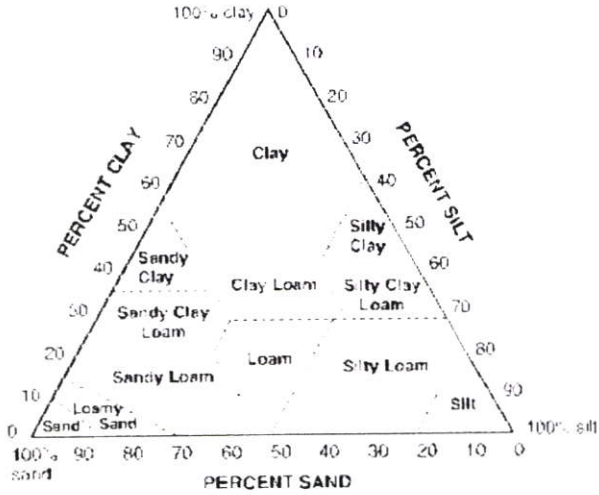
1. ชั่งกระจกนาฬิกาที่สะอาด
2. นำตัวอย่างดินมาชั่ง 10 กรัม ลงบนกระจกนาฬิกา จดบันทึกน้ำหนักเปียก
3. นำไปเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 – 110 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

   % ความชื้น = [(น้ำหนักเปียก – น้ำหนักแห้ง) × 100] / น้ำหนักเปียก ..... (ก.5)
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

ก.5 การหาเปอร์เซ็นต์ทราย ซิลท์ เคลย์ (กลิ่นสุคนธ์ และอำนาจ, ม.ป.ป.)

การปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์

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



รูปที่ ก.1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสดิน

<u>การอ่านค่าจากสารแขวนลอย</u>

1. ชั่งดินที่ผึ่งแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช แล้ว 40 กรัม (ถ้าเป็นดินทรายร่วนหรือดินทรายใช้ 100 กรัม) ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมสารละลายคัลกอน 100 มิลลิลิตร และน้ำประมาณ 300 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
2. ชั่งดินตัวอย่างเดิมอีก 10 กรัม เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นและน้ำหนักแห้งแล้วนำไปอบที่ 105 °C 1 คืน ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์และชั่งน้ำหนัก
3. นำสารแขวนลอยดินจากข้อ 1 มากวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กประมาณ 5 นาที แล้วเทลงกระบอกตวงขนาด 1 L
4. ปรับปริมาตรสารในข้อ 3 ด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1 L ทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่
5. จุ่มแท่งแก้วคนแบบ Plunger แบบขึ้น-ลง เบา ๆ เพื่อให้เกิดการผสมกันอย่างทั่วทั้งกระบอกตวง (ให้หมุนขึ้นลงแบบเกลียวสว่าน 2-3 รอบ) บันทึกเวลาเมื่อคนเสร็จ (เติม 1 หยดของเอมิลแอลกอฮอล์ ถ้าที่ผิวของสารแขวนลอยเป็นฟอง)
6. ค่อยๆหย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงอย่างระมัดระวังในสารแขวนลอยและอ่านสเกลเหมือนหัวข้อการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์ เมื่อเวลาผ่านไป 40 วินาที หลังจากการกวนผสม หลังจากการกวนผสม ค่าที่อ่านได้ควรหักลบจากค่าที่อ่านได้จากการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์
7. ค่อย ๆ ดึงไฮโดรมิเตอร์ขึ้นอย่างระมัดระวังเมื่ออ่านเสร็จ ล้างและเช็ดให้แห้ง
8. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์อีกครั้งโดยทำเหมือนข้อ 6 และ 7

<u>ข้อควรระวัง</u>

การหาขนาดของอนุภาคด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์นี้ไม่เหมาะสมในกรณีที่ดินตัวอย่างมีหินปูนมากหรือเป็นคอนเค็ม หรือมีอินทรีย์คาร์บอนมากกว่า 2 %

การคำนวณ

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

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

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

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

1. ชั่งดิน 5-10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่

2. เติมน้ำยา (สารละลาย $BaCl_2$ 0.5 N และ ไทรเอทานอลามีน) ลงไป 50 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 คืน

กรองโดยใช้กรวยแบบลดความดันและล้างดินด้วยแบเรียมคลอไรด์ไทรเอทานอลามีน 2-3 ครั้ง จนสารละลายที่ได้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ลงในขวดวัดปริมาตรและใช้น้ำยา (สารละลาย $BaCl_2$ 0.5 N และ ไทรเอทานอลามีน) ปรับปริมาตร

3. เทสารละลายที่กรองได้ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500มิลลิลิตร ล้างขวดด้วยน้ำกลั่นและเทลงผสมเติมอินดิเคเตอร์ 4-5 หยด จะได้สารละลายสีเขียว

4. ทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริคก่อน (ให้ได้ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ถ้าไม่ใกล้เคียงกับ 0.2 N ต้องเตรียมใหม่

5. นำไปไทเทรตกับ HCl 0.2 N จนถึงจุดยุติเป็นสีชมพูม่วง

6. ทำแบลงค์ เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน และไทเทรตเช่นกัน

การคำนวณ

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

เมื่อ N = ความเข้มข้นของ HCl (N)

B = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

S = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มิลลิลิตร)

X = น้ำหนักของดิน (กรัม)

ก.7 การหาความเข้มข้นของโลหะหนักโดย Microwave digester (นัทชธีร์ญา, 2545)

1. เลือก Digestion program ให้เหมาะสมกับตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างลงใน Vessel ของ Rotor type ที่กำหนดให้ใช้ได้ใน 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 (ด้ามสีดำ) 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 กรัม มาผสมกับน้ำ DI 25 มิลลิลิตร 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 CH_3COONH_4 pH 7 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 มิลลิลิตร แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 3 Acid soluble

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

ขั้นที่ 4 Reducible

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 3 มาเติม 0.1 M $NH_2OH{\cdot}HCl$ pH 2 (ใน 25 % v/v CH_3COOH) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 มิลลิลิตร แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 5 Oxidizable

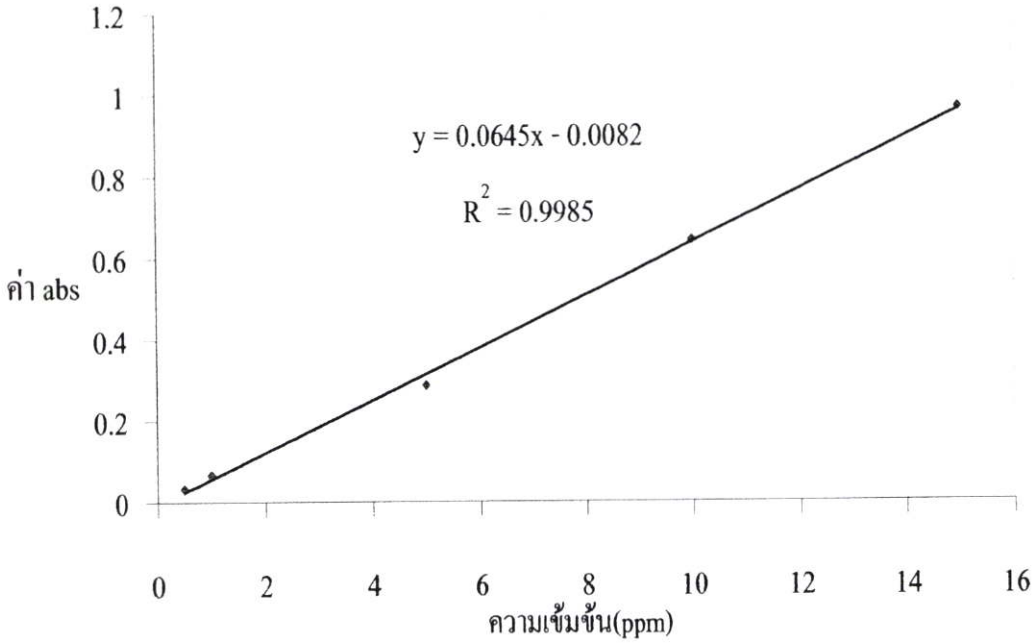
1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 4 มาเติม H_2O_2 30 % pH 2 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่
2. นำไปเขย่าด้วย Waterbath shaker 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 °C แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. เติม 1.0 M CH_3COONH_4 pH 2 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
4. นำไปเขย่าด้วย Waterbath shaker 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 °C แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
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 กรัม ใส่ Platinum crucible
3. นำไปย่อยด้วย HF/HNO_3 บนแท่นให้ความร้อนจนได้สารละลายใส
4. ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำ DI
5. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

ภาคผนวก ค

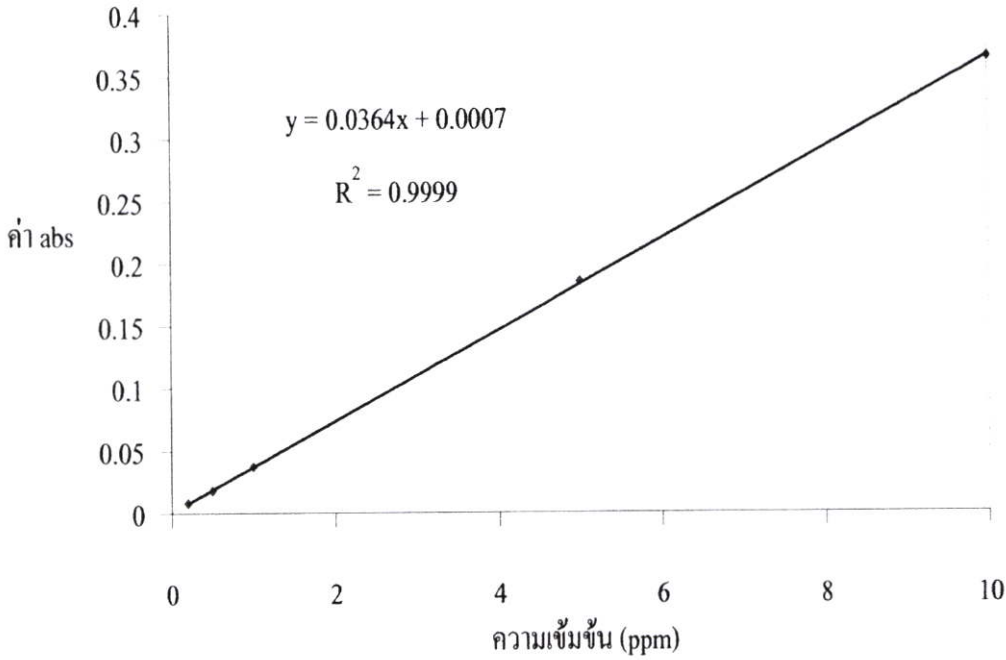
กราฟมาตรฐานของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด



รูปที่ ค.1 กราฟมาตรฐานของทองแดง

ตาราง ค.1 ข้อมูลของทองแดง

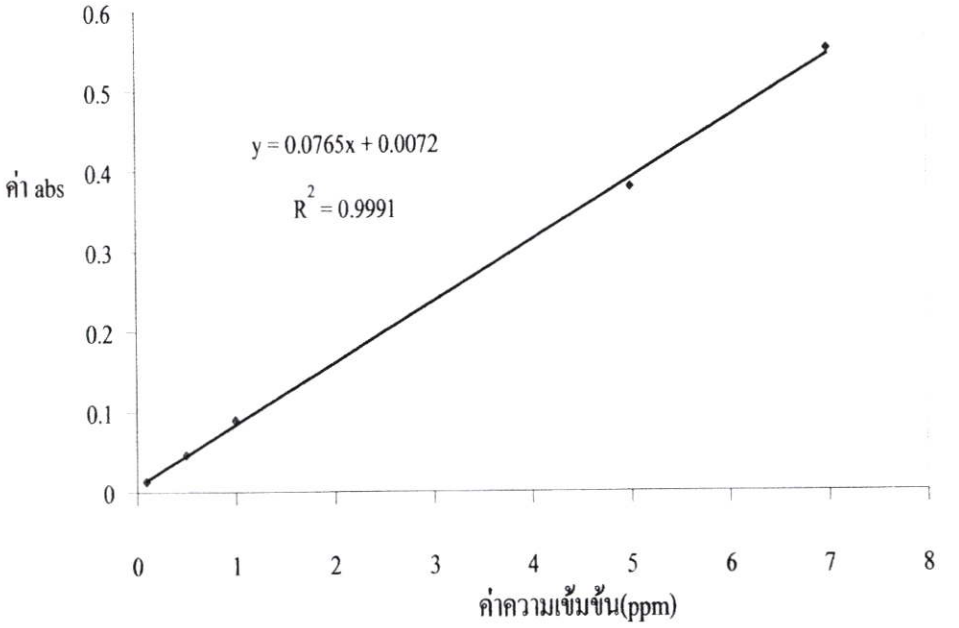
ความเข้มข้น (ppm)	ค่า Absorbance
0.5	0.032
1	0.066
5	0.287
10	0.642
15	0.965



รูป ค.2 กราฟมาตรฐานของเหล็ก

ตาราง ค.2 ข้อมูลของเหล็ก

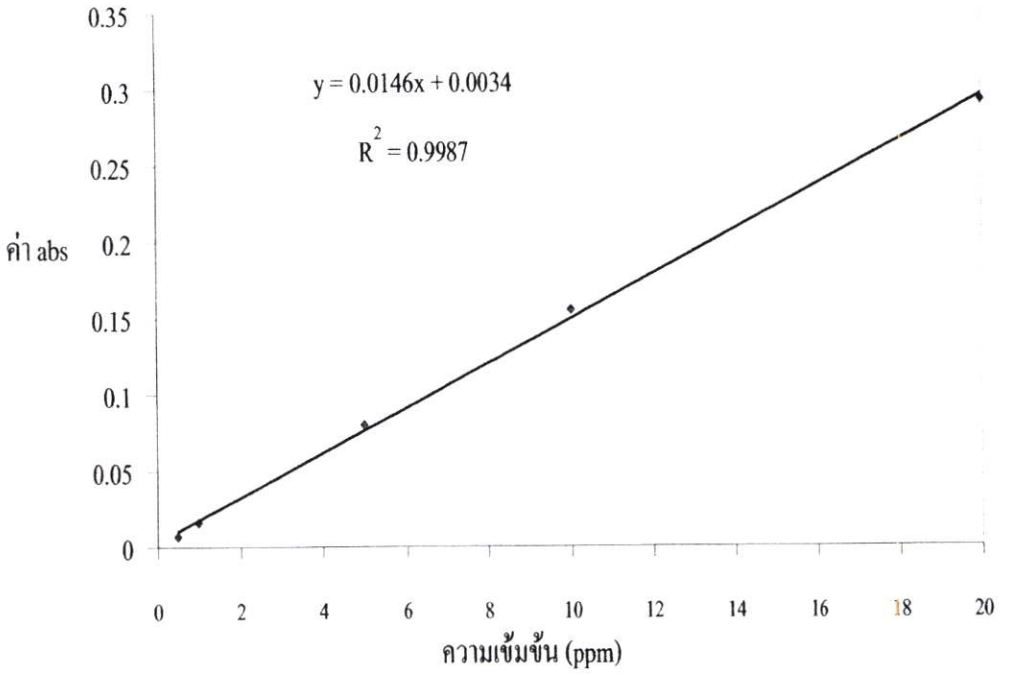
ความเข้มข้น (ppm)	ค่า Absorbance
0.2	0.008
0.5	0.018
1	0.037
5	0.185
10	0.364



รูป ค.3 กราฟมาตรฐานของแมงกานีส

ตาราง ค.3 ข้อมูลของแมงกานีส

ความเข้มข้น (ppm)	ค่า Absorbance
0.1	0.013
0.5	0.046
1	0.089
5	0.379
7	0.55



รูป ค.4 กราฟมาตรฐานของตะกั่ว

ตาราง ค.4 ข้อมูลของตะกั่ว

ความเข้มข้น (ppm)	ค่า Absorbance
0.5	0.007
1	0.016
5	0.08
10	0.155
20	0.292

ภาคผนวก ง

คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินทั้ง 4 ชนิด

ตารางที่ ง.1 ค่า CEC ของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	CEC (meq/100g)			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอู่รถ1	1.13	1.34	1.44	1.30	0.16
ดินอู่รถ2	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 ง.2 ปริมาณสารอินทรีย์ของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอู่รถ1	0.89	0.97	0.98	0.94	0.05
ดินอู่รถ2	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 ง.3 การกระจายตัวของอนุภาคของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	% Sand	% Silt	% Clay	ลักษณะเนื้อดิน
ดินอู่รถ1	81.25	12.5	6.25	Loamy sand
ดินอู่รถ2	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

ตารางที่ ง.4 ปริมาณความชื้นของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	เปอร์เซ็นต์ความชื้น			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอู่รถ1	4.93	4.45	4.77	4.72	0.24
ดินอู่รถ2	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 ง.5 ค่าพีเอชของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน		ดินอู่รถ1	ดินอู่รถ2	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

ตารางที่ ง.6 ความเป็นกรดของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	ความเป็นกรดของดิน (meq/100g)			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอู่รถ1	0.44	0.47	0.48	0.47	0.02
ดินอู่รถ2	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 ง.7 โลหะออกไซด์ของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	% Al_2O_3			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอู่รถ1	13.50	13.90	14.10	13.83	0.31
ดินอู่รถ2	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		
ดินอู่รถ1	0.69	0.67	0.68	0.68	0.01
ดินอู่รถ2	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_2O_3			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
ดินอู่รถ1	43.15	40.26	39.65	41.02	1.87
ดินอู่รถ2	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

ตารางที่ ง.8 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินอู่รถ (1)

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
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
ตะกั่ว	120.53	-	121.62	121.08	12.72

ตารางที่ ง.9 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินอู่รถ (2)

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
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
ตะกั่ว	318.60	250.80	310.81	293.40	37.10

ตารางที่ ง.10 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินกองขยะ

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
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
ตะกั่ว	299.47	-	297.30	298.34	69.05

ตารางที่ ง.11 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินที่เก็บของเก่า

ชนิดของโลหะหนัก	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
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
ตะกั่ว	528.00	-	527.03	527.52	34.33

ภาคผนวก จ

ผลการทดลองเมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอในการชะ

ตาราง จ.1 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 ของดินอู่รถ (1)

โลหะ	อัตราส่วนดิน : สารละลาย	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	0.01	52.96	61.86	55.48	56.77	13.97	1.13
	0.05	69.99	76.05	74.26	73.43	18.07	0.77
	0.10	73.12	83.41	76.01	77.51	19.07	1.31
	0.15	102.47	97.1	97.47	99.01	24.36	0.74
	0.25	96.45	91.33	85.4	91.06	22.40	1.36
เหล็ก	0.01	292.34	473.31	407.18	390.94	1.12	0.26
	0.05	2098.56	2136.85	2077.68	2104.36	6.05	0.09
	0.10	2575.35	2989.5	2707.6	2757.48	7.92	0.61
	0.15	5519.61	6320.05	5415.2	5751.62	16.53	1.42
	0.25	7308.43	8335.09	7395.44	7679.65	22.07	1.64
แมงกานีส	0.01	236.36	267.3	249.36	251.01	12.17	0.75
	0.05	541.82	493.76	511.3	515.63	25.00	1.18
	0.10	368.36	439.31	498.92	435.53	21.12	3.17
	0.15	404.05	506.76	499.33	470.05	22.79	2.78
	0.25	469.01	496.03	488.81	484.62	23.50	0.68
ตะกั่ว	0.01	12.5	20.79	21.62	18.30	15.12	4.16
	0.05	28.14	25.71	38.81	30.89	25.51	5.76
	0.10	38.8	36.04	38.51	37.78	31.21	1.25
	0.15	47.52	39.3	56.35	47.72	39.41	7.04
	0.25	57.14	39.7	51.43	49.42	40.82	7.34

ตาราง จ.2 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 ของดินอู่รถ (2)

โลหะ	อัตราส่วนดิน : สารละลาย	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	0.01	28.8	34.68	27.04	30.17	26.19	3.47
	0.05	47.68	48.64	47.01	47.78	41.46	0.71
	0.10	54.39	53.86	49.24	52.50	45.56	2.46
	0.15	53.85	55.16	70.03	59.68	51.79	7.80
	0.25	55.56	58.61	58.81	57.66	50.04	1.58
เหล็ก	0.01	153.07	188.9	167.73	169.90	1.04	0.11
	0.05	459.22	446.19	444.46	449.96	2.76	0.05
	0.10	584.61	773.51	657.89	672.00	4.13	0.58
	0.15	1112.22	1294.61	1348.35	1251.73	7.69	0.76
	0.25	1519.33	1289.72	1249.01	1352.69	8.31	0.90
แมงกานีส	0.01	62.87	75.63	71.7	70.07	16.74	1.56
	0.05	150.1	149.3	133.14	144.18	34.45	2.29
	0.10	153.19	196.97	201.75	183.97	43.95	6.39
	0.15	197.52	226.02	224.77	216.10	51.63	3.85
	0.25	218.7	212	227.07	219.26	52.38	1.80
ตะกั่ว	0.01	34.77	66.84	65.37	55.66	18.97	6.17
	0.05	95.21	88.34	87.17	90.24	30.76	1.48
	0.10	65.19	101.75	114.51	93.82	31.98	8.73
	0.15	131.24	120	143.27	131.50	44.82	3.97
	0.25	131.09	132.53	131	131.54	44.83	0.29

ตาราง จ.3 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 ของดินกองขยะ

โลหะ	อัตราส่วนดิน : สารละลาย	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	0.01	70.38	85.58	73.09	76.35	37.22	3.95
	0.05	117.95	123.94	105.66	115.85	56.48	4.54
	0.10	131.67	142.32	133.74	135.91	66.26	2.75
	0.15	143.61	150.22	190.44	161.42	78.69	12.36
	0.25	141.85	155.14	163.63	153.54	74.85	5.35
เหล็ก	0.01	277.67	316.68	289.14	294.50	1.28	0.09
	0.05	1110.68	1209.35	1151.98	1157.34	5.04	0.22
	0.10	1893.2	2150.22	2076.78	2040.07	8.89	0.58
	0.15	2694.08	2978.64	2799.64	2824.12	12.31	0.63
	0.25	2960.28	2824.89	3013.06	2932.74	12.78	0.42
แมงกานีส	0.01	128.62	144.77	140.79	138.06	19.06	1.16
	0.05	355.3	376.38	360.81	364.16	50.28	1.51
	0.10	384.05	431.71	403.54	406.43	56.12	3.31
	0.15	456.04	494.93	507.1	486.02	67.11	3.68
	0.25	466.9	469.44	488.85	475.06	65.60	1.66
ตะกั่ว	0.01	45.91	51.68	50.26	49.28	16.52	1.01
	0.05	126.83	134.35	128.79	129.99	43.57	1.31
	0.10	137.09	154.1	144.05	145.08	48.63	2.87
	0.15	162.79	176.67	181.02	173.49	58.15	3.19
	0.25	166.67	167.57	174.5	169.58	56.84	1.44

ตาราง จ.4 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25 ของดินที่เก็บของเก่า

โลหะ	อัตราส่วนดิน : สารละลาย	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	0.01	192	226.87	210.46	209.78	10.23	0.85
	0.05	401.23	544.82	426.05	457.37	22.30	3.74
	0.10	497.85	506.67	483.69	496.07	24.18	0.57
	0.15	612.1	657.23	771.33	680.22	33.16	4.00
	0.25	562.87	625.23	545.03	577.71	28.16	2.05
เหล็ก	0.01	403.65	1336	1096	945.22	2.81	1.44
	0.05	4150.85	4372.85	4184.48	4236.06	12.59	0.36
	0.10	4480.49	6310.36	4974.96	5255.27	15.62	2.81
	0.15	5516.52	5916.8	6246.45	5893.26	17.52	1.09
	0.25	7460.76	6640.01	6246.45	6782.41	20.16	1.84
แมงกานีส	0.01	55.6	59.29	57.13	57.34	8.23	0.27
	0.05	138.99	145.82	138.22	141.01	20.24	0.60
	0.10	124.29	160.79	158.36	147.81	21.22	2.93
	0.15	133.27	119.62	119.9	124.26	17.84	1.12
	0.25	131.39	146.65	147.14	141.73	20.34	1.29
ตะกั่ว	0.01	65.9	96.41	72.65	78.32	14.85	3.04
	0.05	225.01	205.26	180.18	203.48	38.57	4.26
	0.10	207.65	229.79	239.79	225.74	42.79	3.12
	0.15	232.88	249.33	317.62	266.61	50.54	8.52
	0.25	265.73	308.22	251.36	275.10	52.15	5.60

ตาราง จ. 5 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอู่รถ (1)

โลหะ	อัตราส่วน ดิน : สารละลาย	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	1:05	83.65	57.6	67.19	69.48	17.09	3.24
	1:10	98.2	79.99	89.34	89.18	21.94	2.24
	1:15	84.54	80.11	83.2	82.62	20.33	0.56
	1:20	87.23	93.04	92.79	91.02	22.39	0.81
	1:30	102.47	97.1	97.47	99.01	24.36	0.74
เหล็ก	1:05	894.41	779.57	1026.66	900.21	2.59	0.36
	1:10	3908.27	2690.2	2690.2	3096.22	8.90	2.02
	1:15	3309.67	4969.73	3755.14	4011.51	11.53	2.47
	1:20	4242.37	5258.59	3782.98	4427.98	12.72	2.17
	1:30	5519.61	6320.05	5415.2	5751.62	16.53	1.42
แมงกานีส	1:05	414.56	335.98	392.5	381.01	18.47	1.97
	1:10	549.45	530.68	577.3	552.48	26.79	1.14
	1:15	426.73	606.17	536.46	523.12	25.36	4.39
	1:20	491.91	613.6	574.82	560.11	27.16	3.01
	1:30	448.39	570.28	570.28	529.65	25.68	3.41
ตะกั่ว	1:05	18.85	15.83	19.8	18.16	15.00	1.71
	1:10	21.66	26.8	30.39	26.28	21.71	3.62
	1:15	28.04	21.37	22.98	24.13	19.93	2.87
	1:20	30.1	29.24	29.42	29.59	24.44	0.37
	1:30	37.42	37.2	45.29	39.97	33.01	3.81

ตาราง จ. 6 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอู่รถ (2)

โลหะ	อัตราส่วน ดิน : สารละลาย	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	1:05	43.38	45.42	48.4	45.73	39.69	2.19
	1:10	35.65	53.21	39.51	42.79	37.13	8.01
	1:15	44.4	51.61	52.48	49.50	42.95	3.85
	1:20	53.6	52.68	49.85	52.04	45.16	1.70
	1:30	53.85	55.16	70.03	59.68	51.79	7.80
เหล็ก	1:05	227.98	229.61	236.12	231.24	1.42	0.03
	1:10	325.69	340.34	314.29	326.77	2.01	0.08
	1:15	530.87	508.07	439.42	492.79	3.03	0.29
	1:20	731.17	714.88	683.94	710.00	4.36	0.15
	1:30	1112.22	1294.61	1348.35	1251.73	7.69	0.76
แมงกานีส	1:05	124.19	129.71	131.22	128.37	30.67	0.88
	1:10	125.27	174.37	147.29	148.98	35.59	5.88
	1:15	191.99	202.71	211.29	202.00	48.26	2.31
	1:20	231.38	196.64	212.04	213.35	50.97	4.16
	1:30	216.86	257.21	251.47	241.85	57.78	5.22
ตะกั่ว	1:05	68.07	72.79	61.44	67.43	22.98	1.94
	1:10	62.05	69.62	66.51	66.06	22.52	1.30
	1:15	54.1	64.49	80.19	66.26	22.58	4.48
	1:20	93.95	99.02	66.69	86.55	29.50	5.93
	1:30	115.13	104.48	120.38	113.33	38.63	2.76

ตาราง จ. 7 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินกองขยะ

โลหะ	อัตราส่วน ดิน : สารละลาย	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	1:05	104.17	118.26	116.21	112.88	55.03	3.71
	1:10	100.2	151.18	122.98	124.79	60.83	12.45
	1:15	110.34	149.99	143	134.44	65.54	10.32
	1:20	155.12	169.5	129.42	151.35	73.78	9.90
	1:30	143.61	150.22	190.44	161.42	78.69	12.36
เหล็ก	1:05	587.47	656.31	649.43	631.07	2.75	0.17
	1:10	1149.69	1051.01	1131.33	1110.68	4.84	0.23
	1:15	1246.07	1840.42	1574.23	1553.57	6.77	1.30
	1:20	2065.31	2556.4	2398.06	2339.92	10.20	1.09
	1:30	2694.08	2978.64	2799.64	2824.12	12.31	0.63
แมงกานีส	1:05	249.42	281.29	276.29	269.00	37.14	2.37
	1:10	325.25	425.41	382.1	377.59	52.14	6.94
	1:15	365.66	519.48	495.95	460.36	63.57	11.44
	1:20	457.27	539.54	480.81	492.54	68.01	5.85
	1:30	510.43	587.92	586.91	561.75	77.57	6.14
ตะกั่ว	1:05	100.67	99.32	101.31	100.43	33.66	0.34
	1:10	86.55	117.39	108.42	104.12	34.90	5.32
	1:15	114.91	106.2	122.59	114.57	38.40	2.75
	1:20	116.49	125.87	105.09	115.82	38.82	3.49
	1:30	120.7	123.26	115.64	119.87	40.18	1.30

ตาราง จ. 8 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินที่เก็บของเก่า

โลหะ	อัตราส่วน ดิน : สารละลาย	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	1:05	306.05	373.13	308.72	329.30	16.05	1.85
	1:10	355.49	412.1	544	437.20	21.31	4.72
	1:15	615.79	472.82	609.85	566.15	27.60	3.94
	1:20	714.87	583.83	608.41	635.70	30.99	3.40
	1:30	612.1	657.23	717.33	662.22	32.28	2.57
เหล็ก	1:05	1167.22	1429.59	1315.22	1304.01	3.88	0.39
	1:10	3289.73	3195.55	3272.91	3252.73	9.67	0.15
	1:15	5728.44	5506.43	5119.6	5451.49	16.21	0.92
	1:20	6350.73	5146.51	6111.9	5869.71	17.45	1.90
	1:30	5516.52	5916.8	6246.45	5893.26	17.52	1.09
แมงกานีส	1:05	91.82	93.63	78.38	87.94	12.62	1.20
	1:10	121.92	125.05	151.6	132.86	19.07	2.34
	1:15	185.8	159.61	186.78	177.40	25.46	2.21
	1:20	177.31	181.21	155.78	171.43	24.61	1.97
	1:30	155.85	138.71	138.92	144.49	20.74	1.41
ตะกั่ว	1:05	197.7	141.39	117.68	152.26	28.86	7.79
	1:10	138.09	166.93	187.34	164.12	31.11	4.69
	1:15	206.79	189.73	232.12	209.55	39.72	4.04
	1:20	202.57	204.65	231.16	212.79	40.34	3.02
	1:30	191	206.99	271.26	223.08	42.29	8.05

ตารางที่ จ.9 ปริมาณทองแดงที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	6.51	1.60	1.60	7.06	6.12	6.12
2	10	6.40	1.58	3.18	6.50	5.64	11.76
3	15	6.07	1.49	4.67	6.74	5.85	17.61
4	20	5.40	1.33	6.00	5.82	5.05	22.66
5	25	5.12	1.26	7.26	4.25	3.69	26.35
6	30	4.90	1.21	8.46	3.15	2.73	29.08
7	35	4.82	1.18	9.65	2.25	1.95	31.04
8	40	4.30	1.06	10.71	1.72	1.49	32.53
9	45	3.85	0.95	11.65	1.41	1.23	33.76
10	50	3.69	0.91	12.56	1.26	1.09	34.85
11	60	7.15	1.76	14.32	1.94	1.68	36.53
12	70	6.81	1.68	16.00	1.89	1.64	38.18
13	80	7.07	1.74	17.74	1.44	1.25	39.43
14	90	6.75	1.66	19.40	1.17	1.01	40.44
15	100	5.99	1.47	20.87	0.87	0.76	41.20
16	110	5.44	1.34	22.21	0.76	0.66	41.86
17	120	5.57	1.37	23.58	0.67	0.58	42.44
18	130	5.17	1.27	24.85	0.59	0.51	42.96
19	140	4.61	1.13	25.98	0.56	0.49	43.44
20	150	4.33	1.06	27.05	0.50	0.43	43.88

ตารางที่ จ.9 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	3.97	0.98	28.03	0.47	0.41	44.28
22	170	3.27	0.81	28.83	0.39	0.34	44.62
23	180	2.89	0.71	29.54	0.34	0.30	44.92
24	190	3.01	0.74	30.28	0.31	0.27	45.19
25	200	2.81	0.69	30.97	0.28	0.24	45.44
26	210	2.95	0.73	31.70	0.25	0.22	45.65
27	220	2.73	0.67	32.37	0.24	0.20	45.86
28	230	2.38	0.58	32.96	0.20	0.18	46.04
29	240	2.20	0.54	33.50	0.19	0.16	46.20
30	250	1.96	0.48	33.98	0.19	0.16	46.36
31	260	1.69	0.42	34.40	0.19	0.16	46.53
32	270	1.44	0.36	34.75	0.19	0.16	46.69
33	280	1.55	0.38	35.13	0.19	0.16	46.86
34	290	1.32	0.32	35.46	0.19	0.16	47.02
35	300	1.13	0.28	35.74	0.19	0.16	47.19

ตารางที่ จ.9 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	15.78	7.69	7.69	15.85	0.77	0.77
2	10	12.76	6.22	13.92	15.78	0.77	1.54
3	15	5.99	2.92	16.84	15.77	0.77	2.31
4	20	5.72	2.79	19.63	15.52	0.76	3.07
5	25	5.06	2.47	22.10	15.54	0.76	3.83
6	30	4.70	2.29	24.39	15.35	0.75	4.57
7	35	4.33	2.11	26.50	15.01	0.73	5.31
8	40	3.89	1.89	28.39	15.15	0.74	6.04
9	45	2.75	1.34	29.73	14.76	0.72	6.76
10	50	2.48	1.21	30.94	14.55	0.71	7.47
11	60	5.51	2.68	33.62	28.16	1.37	8.85
12	70	5.09	2.48	36.10	26.42	1.29	10.13
13	80	4.56	2.22	38.33	25.80	1.26	11.39
14	90	3.34	1.63	39.95	22.33	1.09	12.48
15	100	3.12	1.52	41.47	15.86	0.77	13.25
16	110	2.25	1.10	42.57	14.70	0.72	13.97
17	120	2.44	1.19	43.76	13.76	0.67	14.64
18	130	2.33	1.14	44.90	13.54	0.66	15.30
19	140	2.27	1.10	46.00	12.84	0.63	15.93
20	150	1.99	0.97	46.97	11.69	0.57	16.50

ตารางที่ จ.9 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	2.00	0.98	47.95	11.96	0.58	17.08
22	170	1.85	0.90	48.85	12.03	0.59	17.67
23	180	1.72	0.84	49.69	11.71	0.57	18.24
24	190	1.51	0.73	50.42	11.65	0.57	18.80
25	200	1.34	0.65	51.07	12.31	0.60	19.40
26	210	1.07	0.52	51.60	11.88	0.58	19.98
27	220	1.10	0.54	52.13	10.27	0.50	20.48
28	230	0.87	0.42	52.56	10.19	0.50	20.98
29	240	0.78	0.38	52.94	8.90	0.43	21.42
30	250	0.62	0.30	53.24	7.83	0.38	21.80
31	260	0.34	0.17	53.41	8.07	0.39	22.19
32	270	0.33	0.16	53.57	7.82	0.38	22.57
33	280	0.31	0.15	53.72	7.52	0.37	22.94
34	290	0.28	0.14	53.86	6.51	0.32	23.26
35	300	0.25	0.12	53.98	5.03	0.25	23.50

ตารางที่ จ.10 ปริมาณเหล็กที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	16.68	0.05	0.05	8.85	0.05	0.05
2	10	17.67	0.05	0.10	11.19	0.07	0.12
3	15	18.01	0.05	0.15	13.08	0.08	0.20
4	20	18.03	0.05	0.20	13.93	0.09	0.29
5	25	17.98	0.05	0.25	14.40	0.09	0.38
6	30	18.11	0.05	0.31	15.09	0.09	0.47
7	35	18.03	0.05	0.36	15.32	0.09	0.56
8	40	17.96	0.05	0.41	15.31	0.09	0.66
9	45	18.11	0.05	0.46	15.32	0.09	0.75
10	50	18.31	0.05	0.51	15.38	0.09	0.85
11	60	36.38	0.10	0.62	30.12	0.18	1.03
12	70	35.75	0.10	0.72	30.17	0.19	1.22
13	80	37.23	0.11	0.83	29.18	0.18	1.40
14	90	36.16	0.10	0.93	28.17	0.17	1.57
15	100	34.68	0.10	1.03	27.45	0.17	1.74
16	110	34.76	0.10	1.13	26.63	0.16	1.90
17	120	35.80	0.10	1.23	25.86	0.16	2.06
18	130	35.50	0.10	1.34	25.42	0.16	2.22
19	140	35.56	0.10	1.44	25.34	0.16	2.37
20	150	35.23	0.10	1.54	25.15	0.15	2.53

ตารางที่ จ.10 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	35.39	0.10	1.64	25.42	0.16	2.68
22	170	35.45	0.10	1.74	23.74	0.15	2.83
23	180	35.09	0.10	1.84	22.78	0.14	2.97
24	190	34.98	0.10	1.94	22.29	0.14	3.10
25	200	35.91	0.10	2.05	21.41	0.13	3.24
26	210	34.79	0.10	2.15	21.60	0.13	3.37
27	220	34.54	0.10	2.25	20.09	0.12	3.49
28	230	35.39	0.10	2.35	19.60	0.12	3.61
29	240	34.62	0.10	2.45	16.11	0.10	3.71
30	250	33.69	0.10	2.55	15.28	0.09	3.81
31	260	34.27	0.10	2.64	8.72	0.05	3.86
32	270	34.73	0.10	2.74	8.50	0.05	3.91
33	280	33.77	0.10	2.84	8.69	0.05	3.96
34	290	33.06	0.09	2.94	8.83	0.05	4.02
35	300	33.00	0.09	3.03	8.55	0.05	4.07

ตารางที่ จ.10 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	17.08	0.07	0.07	16.68	0.05	0.05
2	10	17.37	0.08	0.15	17.67	0.05	0.10
3	15	16.58	0.07	0.22	18.01	0.05	0.16
4	20	16.97	0.07	0.30	18.03	0.05	0.21
5	25	14.52	0.06	0.36	17.98	0.05	0.26
6	30	0.32	0.00	0.36	18.11	0.05	0.32
7	35	13.45	0.06	0.42	18.03	0.05	0.37
8	40	13.89	0.06	0.48	17.96	0.05	0.42
9	45	13.48	0.06	0.54	18.11	0.05	0.48
10	50	13.15	0.06	0.60	18.26	0.05	0.53
11	60	26.85	0.12	0.71	36.02	0.11	0.64
12	70	13.85	0.06	0.77	35.75	0.11	0.75
13	80	14.68	0.06	0.84	35.70	0.11	0.85
14	90	22.26	0.10	0.93	36.16	0.11	0.96
15	100	19.43	0.08	1.02	34.68	0.10	1.06
16	110	17.62	0.08	1.10	34.76	0.10	1.17
17	120	19.38	0.08	1.18	35.80	0.11	1.27
18	130	21.66	0.09	1.27	35.50	0.11	1.38
19	140	27.07	0.12	1.39	35.56	0.11	1.48
20	150	25.80	0.11	1.51	35.23	0.10	1.59

ตารางที่ จ.10 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	31.63	0.14	1.64	35.91	0.11	1.69
22	170	27.15	0.12	1.76	35.45	0.11	1.80
23	180	21.19	0.09	1.85	35.09	0.10	1.90
24	190	23.91	0.10	1.96	34.98	0.10	2.01
25	200	18.44	0.08	2.04	35.91	0.11	2.11
26	210	15.20	0.07	2.10	34.79	0.10	2.22
27	220	15.15	0.07	2.17	34.54	0.10	2.32
28	230	15.04	0.07	2.24	35.39	0.11	2.43
29	240	14.71	0.06	2.30	34.62	0.10	2.53
30	250	14.27	0.06	2.36	33.69	0.10	2.63
31	260	14.13	0.06	2.42	34.54	0.10	2.73
32	270	13.63	0.06	2.48	34.76	0.10	2.84
33	280	13.22	0.06	2.54	33.77	0.10	2.94
34	290	13.58	0.06	2.60	33.06	0.10	3.03
35	300	13.09	0.06	2.66	32.89	0.10	3.13

ตารางที่ จ.11 ปริมาณแมงกานีสที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	11.34	0.55	0.55	9.67	2.31	2.31
2	10	10.92	0.53	1.08	9.63	2.30	4.61
3	15	10.61	0.51	1.59	9.59	2.29	6.90
4	20	10.34	0.50	2.10	9.42	2.25	9.15
5	25	10.04	0.49	2.58	8.45	2.02	11.17
6	30	9.84	0.48	3.06	6.85	1.64	12.81
7	35	9.68	0.47	3.53	7.49	1.79	14.60
8	40	9.35	0.45	3.98	7.21	1.72	16.32
9	45	9.44	0.46	4.44	7.15	1.71	18.03
10	50	9.10	0.44	4.88	7.12	1.70	19.73
11	60	18.23	0.88	5.76	13.45	3.21	22.94
12	70	17.78	0.86	6.63	13.10	3.13	26.07
13	80	17.17	0.83	7.46	13.23	3.16	29.23
14	90	16.45	0.80	8.26	13.32	3.18	32.41
15	100	15.83	0.77	9.02	13.21	3.16	35.57
16	110	15.88	0.77	9.79	12.78	3.05	38.62
17	120	14.48	0.70	10.50	12.49	2.99	41.61
18	130	14.85	0.72	11.22	11.33	2.71	44.31
19	140	14.65	0.71	11.93	10.22	2.44	46.76
20	150	13.58	0.66	12.58	10.78	2.58	49.33

ตารางที่ จ.11 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	13.12	0.64	13.22	8.43	2.01	51.35
22	170	13.27	0.64	13.86	8.01	1.91	53.26
23	180	14.23	0.69	14.55	7.28	1.74	55.00
24	190	12.89	0.62	15.18	6.89	1.65	56.64
25	200	12.64	0.61	15.79	5.55	1.33	57.97
26	210	12.76	0.62	16.41	6.47	1.55	59.52
27	220	9.21	0.45	16.86	5.13	1.23	60.74
28	230	9.62	0.47	17.32	4.10	0.98	61.72
29	240	8.45	0.41	17.73	4.19	1.00	62.72
30	250	8.25	0.40	18.13	3.83	0.91	63.64
31	260	6.60	0.32	18.45	2.82	0.67	64.31
32	270	5.63	0.27	18.73	2.64	0.63	64.94
33	280	3.98	0.19	18.92	1.95	0.46	65.41
34	290	4.26	0.21	19.13	1.68	0.40	65.81
35	300	3.93	0.19	19.32	1.37	0.33	66.14

ตารางที่ จ.11 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	12.29	1.70	1.70	6.99	1.00	1.00
2	10	12.17	1.68	3.38	6.89	0.99	1.99
3	15	11.40	1.57	4.95	7.49	1.07	3.07
4	20	10.18	1.40	6.36	6.54	0.94	4.01
5	25	9.31	1.29	7.64	6.60	0.95	4.95
6	30	5.34	0.74	8.38	6.50	0.93	5.89
7	35	4.31	0.60	8.98	6.76	0.97	6.86
8	40	4.76	0.66	9.63	6.65	0.95	7.81
9	45	4.46	0.62	10.25	6.87	0.99	8.80
10	50	3.98	0.55	10.80	6.79	0.97	9.77
11	60	7.71	1.06	11.86	13.45	1.93	11.70
12	70	8.01	1.11	12.97	13.50	1.94	13.64
13	80	10.93	1.51	14.48	13.21	1.90	15.54
14	90	7.28	1.01	15.48	12.55	1.80	17.34
15	100	5.33	0.74	16.22	11.20	1.61	18.95
16	110	4.10	0.57	16.78	10.08	1.45	20.39
17	120	3.37	0.47	17.25	8.21	1.18	21.57
18	130	3.95	0.54	17.79	7.29	1.05	22.62
19	140	4.68	0.65	18.44	5.88	0.84	23.46
20	150	7.80	1.08	19.52	4.59	0.66	24.12

ตารางที่ จ.11 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	6.27	0.87	20.38	4.31	0.62	24.74
22	170	4.70	0.65	21.03	3.81	0.55	25.29
23	180	3.81	0.53	21.56	4.69	0.67	25.96
24	190	4.93	0.68	22.24	1.25	0.18	26.14
25	200	3.32	0.46	22.70	1.17	0.17	26.31
26	210	2.82	0.39	23.09	1.15	0.16	26.47
27	220	2.79	0.39	23.47	1.12	0.16	26.63
28	230	2.35	0.32	23.80	1.08	0.16	26.79
29	240	2.02	0.28	24.08	0.96	0.14	26.93
30	250	1.93	0.27	24.34	0.91	0.13	27.06
31	260	1.76	0.24	24.59	0.81	0.12	27.17
32	270	1.67	0.23	24.82	0.73	0.10	27.28
33	280	1.50	0.21	25.02	0.68	0.10	27.38
34	290	1.45	0.20	25.22	0.61	0.09	27.46
35	300	1.33	0.18	25.41	0.62	0.09	27.55

ตารางที่ จ.12 ปริมาณเหล็กที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	1.60	1.40	1.40	7.35	2.50	2.50
2	10	1.63	1.43	2.84	6.87	2.34	4.85
3	15	1.56	1.37	4.21	7.04	2.40	7.25
4	20	1.49	1.31	5.52	6.53	2.22	9.47
5	25	1.36	1.19	6.71	5.12	1.75	11.22
6	30	1.42	1.25	7.97	4.23	1.44	12.66
7	35	1.25	1.10	9.07	3.41	1.16	13.82
8	40	1.12	0.98	10.05	3.03	1.03	14.86
9	45	1.15	1.01	11.06	2.59	0.88	15.74
10	50	0.98	0.86	11.92	2.66	0.91	16.64
11	60	1.75	1.54	13.46	5.32	1.81	18.46
12	70	1.55	1.36	14.83	4.22	1.44	19.89
13	80	1.21	1.06	15.89	3.60	1.23	21.12
14	90	1.14	1.00	16.89	3.12	1.06	22.19
15	100	1.27	1.12	18.01	2.64	0.90	23.09
16	110	0.93	0.82	18.82	2.58	0.88	23.97
17	120	0.86	0.76	19.58	2.30	0.78	24.75
18	130	1.00	0.88	20.46	2.30	0.78	25.53
19	140	0.73	0.64	21.10	2.23	0.76	26.30
20	150	0.45	0.40	21.50	2.16	0.74	27.03

ตารางที่ จ.12 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	0.38	0.34	21.84	2.10	0.71	27.75
22	170	0.38	0.34	22.17	1.82	0.62	28.37
23	180	0.45	0.40	22.57	1.89	0.64	29.01
24	190	0.25	0.22	22.79	1.68	0.57	29.59
25	200	0.18	0.16	22.94	1.55	0.53	30.11
26	210	0.18	0.16	23.10	1.48	0.50	30.62
27	220	0.11	0.10	23.20	1.48	0.50	31.12
28	230	0.11	0.10	23.29	1.48	0.50	31.63
29	240	0.18	0.16	23.45	1.48	0.50	32.13
30	250	0.04	0.04	23.49	1.34	0.46	32.59
31	260	0.04	0.04	23.52	1.21	0.41	33.00
32	270	0.04	0.04	23.56	0.73	0.25	33.25
33	280	0	0	23.56	0.79	0.27	33.52
34	290	0	0	23.56	0.73	0.25	33.77
35	300	0	0	23.56	0.73	0.25	34.01

ตารางที่ จ.12 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	23.34	9.03	9.03	14.54	2.86	2.86
2	10	10.53	4.07	13.10	14.47	2.85	5.71
3	15	6.63	2.56	15.67	13.79	2.72	8.43
4	20	5.09	1.97	17.64	12.11	2.39	10.82
5	25	3.96	1.53	19.17	12.11	2.39	13.20
6	30	3.14	1.21	20.38	10.71	2.11	15.31
7	35	2.86	1.11	21.49	10.12	1.99	17.30
8	40	2.52	0.97	22.46	10.40	2.05	19.35
9	45	2.35	0.91	23.37	9.58	1.89	21.24
10	50	2.11	0.82	24.19	8.89	1.75	22.99
11	60	3.74	1.45	25.64	16.75	3.30	26.29
12	70	3.40	1.31	26.95	14.63	2.88	29.17
13	80	3.19	1.23	28.18	14.49	2.85	32.02
14	90	2.78	1.08	29.26	18.26	3.60	35.62
15	100	2.37	0.92	30.18	9.77	1.92	37.55
16	110	1.96	0.76	30.93	9.08	1.79	39.33
17	120	1.48	0.57	31.51	7.99	1.57	40.91
18	130	0.93	0.36	31.87	7.44	1.47	42.37
19	140	0.79	0.31	32.17	6.82	1.34	43.72
20	150	0.18	0.07	32.24	5.86	1.15	44.87

ตารางที่ จ.12 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	0.38	0.15	32.39	5.73	1.13	46.00
22	170	0.45	0.17	32.57	5.73	1.13	47.13
23	180	0.38	0.15	32.72	5.32	1.05	48.17
24	190	0.18	0.07	32.78	5.18	1.02	49.19
25	200	0.25	0.10	32.88	5.38	1.06	50.25
26	210	0.11	0.04	32.92	4.84	0.95	51.21
27	220	0.32	0.12	33.04	4.08	0.80	52.01
28	230	0.25	0.10	33.14	4.01	0.79	52.80
29	240	0.32	0.12	33.26	3.60	0.71	53.51
30	250	0.04	0.02	33.28	3.05	0.60	54.11
31	260	0.00	0.00	33.28	3.26	0.64	54.75
32	270	0.00	0.00	33.28	3.12	0.62	55.37
33	280	0.00	0.00	33.28	2.92	0.57	55.94
34	290	0.00	0.00	33.28	2.58	0.51	56.45
35	300	0.00	0.00	33.28	2.03	0.40	56.85

ตาราง จ.13 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้ง ในขั้นที่ 1

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 1				
			% โลหะ			ค่าเฉลี่ย	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
อู่รถ (1)	ก่อนชะ	Cu	1.54	0.73	1.82	1.36	0.57
		Fe	0.41	0.53	0.44	0.46	0.06
		Mn	0.40	0.42	0.04	0.29	0.21
		Pb	5.57	3.57	5.35	4.83	1.10
	หลังชะ	Cu	0.19	0.26	0.36	0.27	0.08
		Fe	0.10	0.07	0.10	0.09	0.02
		Mn	0.06	0.10	0.08	0.08	0.02
		Pb	1.08	0.87	1.01	0.99	0.11
อู่รถ (2)	ก่อนชะ	Cu	3.16	1.50	2.99	2.55	0.92
		Fe	0.25	0.12	0.22	0.20	0.07
		Mn	1.06	0.96	1.04	1.02	0.05
		Pb	2.33	2.87	3.49	2.90	0.58
	หลังชะ	Cu	0.40	0.97	0.60	0.66	0.29
		Fe	0.04	0.05	0.05	0.05	0.00
		Mn	0.08	0.14	0.12	0.11	0.03
		Pb	0.13	0.99	0.89	0.67	0.47
กองขยะ	ก่อนชะ	Cu	1.39	1.86	1.49	1.58	0.25
		Fe	0.60	0.44	0.68	0.58	0.12
		Mn	0.34	0.25	0.35	0.31	0.05
		Pb	5.08	2.75	4.13	3.98	1.17
	หลังชะ	Cu	0.24	0.46	0.32	0.34	0.11
		Fe	0.23	0.32	0.29	0.28	0.04
		Mn	0.05	0.04	0.03	0.04	0.01
		Pb	1.18	0.81	0.87	0.95	0.20

ตาราง จ.13 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 1				SD
			% โลหะ			ค่าเฉลี่ย	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ที่เก็บของเก่า	ก่อนชะ	Cu	0.69	0.57	0.60	0.62	0.06
		Fe	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
		Mn	0.11	0.14	0.16	0.13	0.03
		Pb	1.94	1.04	1.29	1.42	0.46
	หลังชะ	Cu	0.17	0.17	0.15	0.16	0.01
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Mn	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01
		Pb	0.21	0.25	0.14	0.20	0.05

ตาราง จ.14 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้ง ในขั้นที่ 2

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 2				SD
			% โลหะ			ค่าเฉลี่ย	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
อู่รถ (1)	ก่อนชะ	Cu	5.38	5.07	5.56	5.34	0.25
		Fe	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00
		Mn	4.61	4.68	4.71	4.67	0.05
		Pb	6.53	4.55	5.69	5.59	0.99
	หลังชะ	Cu	0.77	0.66	0.84	0.76	0.09
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Mn	1.32	1.00	1.16	1.16	0.16
		Pb	0.82	0.55	1.16	0.84	0.30
อู่รถ (2)	ก่อนชะ	Cu	6.62	7.40	5.84	6.62	0.78
		Fe	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00
		Mn	9.63	10.12	9.87	9.87	0.25
		Pb	5.92	7.24	7.90	7.02	1.01
	หลังชะ	Cu	1.22	0.90	1.69	1.27	0.40
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Mn	1.47	1.48	1.60	1.52	0.08
		Pb	1.31	1.42	1.20	1.31	0.11
กองขยะ	ก่อนชะ	Cu	5.88	5.61	5.08	5.52	0.41
		Fe	0.07	0.06	0.06	0.06	0.01
		Mn	7.44	8.91	8.61	8.32	0.77
		Pb	8.72	6.11	6.98	7.27	1.33
	หลังชะ	Cu	0.86	0.80	0.76	0.81	0.05
		Fe	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00
		Mn	1.09	1.46	1.30	1.28	0.18
		Pb	1.31	1.61	1.22	1.38	0.20

ตาราง จ.14 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 2				SD
			% โลหะ			ค่าเฉลี่ย	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ที่เก็บของเก่า	ก่อนชะ	Cu	13.06	13.85	12.31	13.08	0.77
		Fe	0.09	0.10	0.10	0.10	0.01
		Mn	3.55	3.17	3.45	3.39	0.20
		Pb	4.26	4.61	4.29	4.39	0.19
	หลังชะ	Cu	2.76	2.74	2.90	2.80	0.09
		Fe	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
		Mn	0.55	0.42	0.63	0.53	0.10
		Pb	1.05	0.79	1.01	0.95	0.14

ตาราง จ.15 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้ง ในขั้นที่ 3

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 3				SD
			% โลหะ			ค่าเฉลี่ย	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
อู่รถ (1)	ก่อนชะ	Cu	11.87	11.45	10.19	11.17	0.87
		Fe	0.91	0.97	0.95	0.94	0.03
		Mn	13.44	14.51	14.38	14.11	0.59
		Pb	7.83	9.20	7.64	8.22	0.85
	หลังชะ	Cu	2.74	3.04	3.13	2.97	0.20
		Fe	0.40	0.51	0.53	0.48	0.07
		Mn	8.58	6.68	7.38	7.55	0.96
		Pb	2.41	2.51	2.12	2.35	0.20
อู่รถ (2)	ก่อนชะ	Cu	11.44	12.32	10.56	11.44	0.88
		Fe	0.16	0.14	0.14	0.15	0.01
		Mn	11.93	12.94	12.81	12.56	0.55
		Pb	9.46	10.09	8.83	9.46	0.63
	หลังชะ	Cu	2.64	2.19	2.87	2.57	0.34
		Fe	0.03	0.04	0.03	0.03	0.00
		Mn	3.58	4.46	4.27	4.10	0.46
		Pb	2.05	1.82	2.16	2.01	0.17
กองขยะ	ก่อนชะ	Cu	14.66	15.26	17.36	15.76	1.41
		Fe	0.14	0.16	0.15	0.15	0.01
		Mn	21.59	23.63	23.07	22.77	1.05
		Pb	9.20	7.59	7.55	8.11	0.94
	หลังชะ	Cu	7.63	5.52	5.64	6.26	1.18
		Fe	0.07	0.07	0.06	0.07	0.00
		Mn	4.90	5.53	5.15	5.19	0.31
		Pb	2.44	1.72	2.07	2.07	0.36

ตาราง จ.15 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 3				
			% โลหะ			ค่าเฉลี่ย	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ที่เก็บของเก่า	ก่อนชะ	Cu	4.67	4.93	4.58	4.73	0.18
		Fe	0.28	0.26	0.24	0.26	0.02
		Mn	13.72	11.50	14.37	13.20	1.51
		Pb	6.93	6.24	5.15	6.11	0.90
	หลังชะ	Cu	1.89	2.04	2.00	1.98	0.07
		Fe	0.13	0.11	0.13	0.12	0.01
		Mn	5.52	4.88	5.02	5.14	0.34
		Pb	1.67	1.53	1.48	1.56	0.10

ตาราง จ.16 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้ง ในขั้นที่ 4

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 4				SD
			% โลหะ			ค่าเฉลี่ย	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
อู่รถ (1)	ก่อนชะ	Cu	39.18	32.02	32.54	34.58	3.99
		Fe	17.54	17.03	18.19	17.59	0.58
		Mn	21.82	23.15	23.25	22.74	0.80
		Pb	26.39	23.56	25.44	25.13	1.44
	หลังชะ	Cu	17.10	12.52	12.28	13.97	2.72
		Fe	15.08	16.43	15.84	15.78	0.68
		Mn	10.21	7.55	9.66	9.14	1.41
		Pb	12.80	10.80	13.06	12.22	1.24
อู่รถ (2)	ก่อนชะ	Cu	24.59	27.34	25.62	25.85	1.39
		Fe	16.22	16.49	16.34	16.35	0.14
		Mn	57.11	55.05	56.34	56.17	1.04
		Pb	46.91	52.16	48.76	49.27	2.66
	หลังชะ	Cu	7.18	5.68	6.49	6.45	0.75
		Fe	13.09	10.61	9.78	11.16	1.72
		Mn	23.13	27.55	26.44	25.71	2.30
		Pb	27.68	28.22	34.08	29.99	3.55
กองขยะ	ก่อนชะ	Cu	23.22	28.17	24.98	25.45	2.51
		Fe	16.25	15.76	16.85	16.29	0.54
		Mn	56.27	42.93	52.83	50.68	6.92
		Pb	25.59	21.91	24.84	24.11	1.94
	หลังชะ	Cu	6.07	6.90	5.24	6.07	0.83
		Fe	8.52	12.08	10.58	10.39	1.79
		Mn	11.31	9.31	10.76	10.46	1.03
		Pb	5.15	5.63	5.45	5.41	0.24

ตาราง จ.16 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 4				
			% โลหะ			ค่าเฉลี่ย	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ที่เก็บของเก่า	ก่อนชะ	Cu	36.65	33.71	30.13	33.50	3.27
		Fe	17.42	17.49	18.25	17.72	0.46
		Mn	25.44	20.71	24.60	23.58	2.52
		Pb	46.63	45.34	45.98	45.98	0.65
	หลังชะ	Cu	17.84	20.55	21.96	20.12	2.09
		Fe	16.67	15.73	14.42	15.61	1.13
		Mn	7.25	6.60	7.50	7.12	0.46
		Pb	17.87	31.73	27.64	25.75	7.12

ตาราง จ.17 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้ง ในขั้นที่ 5

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 5				SD
			% โลหะ			ค่าเฉลี่ย	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
อู่รถ (1)	ก่อนชะ	Cu	43.94	41.59	40.28	41.94	1.86
		Fe	21.49	21.58	21.69	21.59	0.10
		Mn	6.52	6.54	6.59	6.55	0.04
		Pb	26.80	26.99	32.39	28.72	3.17
	หลังชะ	Cu	15.99	20.08	17.17	17.74	2.10
		Fe	17.69	19.55	18.26	18.50	0.95
		Mn	4.60	4.31	4.53	4.48	0.15
		Pb	19.01	13.96	11.17	14.71	3.97
อู่รถ (2)	ก่อนชะ	Cu	46.16	52.76	48.64	49.19	3.33
		Fe	17.96	17.99	19.12	18.36	0.66
		Mn	7.79	7.41	7.76	7.65	0.21
		Pb	17.52	19.37	22.60	19.83	2.57
	หลังชะ	Cu	16.67	13.12	17.71	15.83	2.41
		Fe	8.13	0.71	7.57	5.47	4.13
		Mn	2.48	2.62	2.12	2.40	0.25
		Pb	15.13	12.11	12.66	13.30	1.61
กองขยะ	ก่อนชะ	Cu	48.78	52.14	36.44	45.79	8.27
		Fe	19.99	20.87	20.25	20.37	0.46
		Mn	8.55	7.67	8.68	8.30	0.55
		Pb	17.11	18.08	22.09	19.10	2.64
	หลังชะ	Cu	8.16	8.32	8.51	8.33	0.18
		Fe	14.34	13.53	14.71	14.20	0.60
		Mn	1.44	1.67	1.73	1.61	0.15
		Pb	4.19	6.17	4.12	4.83	1.17

ตาราง จ.17 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 5				
			% โลหะ			ค่าเฉลี่ย	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ที่เก็บของเก่า	ก่อนชะ	Cu	34.05	43.56	46.65	41.42	6.57
		Fe	19.43	16.79	18.30	18.17	1.32
		Mn	5.26	4.67	5.06	5.00	0.30
		Pb	16.41	17.28	17.67	17.12	0.64
	หลังชะ	Cu	11.59	12.62	12.43	12.21	0.55
		Fe	12.83	11.96	13.51	12.76	0.78
		Mn	1.26	2.23	2.04	1.85	0.51
		Pb	8.63	9.47	9.24	9.11	0.43

ตาราง จ.18 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้ง ในขั้นที่ 6

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 6				SD
			% โลหะ			ค่าเฉลี่ย	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
อู่รถ (1)	ก่อนชะ	Cu	5.88	6.26	4.70	5.61	0.82
		Fe	59.56	59.56	59.08	59.40	0.28
		Mn	46.33	59.40	49.76	51.83	6.77
		Pb	36.43	22.75	23.33	27.50	7.74
	หลังชะ	Cu	13.50	13.82	13.44	13.59	0.20
		Fe	59.66	60.16	59.43	59.75	0.38
		Mn	45.09	47.72	46.04	46.28	1.33
		Pb	26.70	24.96	28.53	26.73	1.78
อู่รถ (2)	ก่อนชะ	Cu	2.29	3.59	7.18	4.35	2.53
		Fe	64.61	64.48	65.63	64.91	0.63
		Mn	12.94	12.60	12.65	12.73	0.19
		Pb	15.94	5.91	12.71	11.52	5.12
	หลังชะ	Cu	9.07	5.28	4.78	6.38	2.34
		Fe	85.02	68.16	81.73	78.30	8.94
		Mn	12.01	6.08	9.27	9.12	2.96
		Pb	5.52	3.79	3.60	4.30	1.06
กองขยะ	ก่อนชะ	Cu	10.30	7.73	10.30	9.45	1.49
		Fe	58.62	65.49	63.56	62.56	3.54
		Mn	11.46	8.13	9.29	9.62	1.69
		Pb	29.83	38.47	43.97	37.43	7.13
	หลังชะ	Cu	5.56	8.07	4.61	6.08	1.79
		Fe	56.02	65.64	64.70	62.12	5.31
		Mn	5.53	6.20	6.79	6.18	0.63
		Pb	27.77	64.76	32.38	41.64	20.16

ตาราง จ.18 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 6				
			% โลหะ			ค่าเฉลี่ย	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ที่เก็บของเก่า	ก่อนชะ	Cu	5.96	6.66	7.36	6.66	0.70
		Fe	64.48	62.10	64.62	63.73	1.42
		Mn	59.76	45.59	58.73	54.70	7.90
		Pb	24.98	22.71	27.25	24.98	2.27
	หลังชะ	Cu	4.33	5.70	4.21	4.75	0.83
		Fe	64.38	64.59	66.41	65.13	1.12
		Mn	41.75	34.44	39.69	38.63	3.77
		Pb	25.16	29.35	23.96	26.16	2.83

ตาราง จ.19 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ ในขั้นที่ 1

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 1					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย	%	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/kg)	removal	
อู่รถ 2	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.15	0.09	0.12	0.12	1.44	0.01
		Fe	1.05	0.75	0.82	0.88	0.13	0.00
		Mn	0.15	0.13	0.14	0.14	0.64	0.00
		Pb	0	0	0	0	0	0
	หลังลงคอลัมน์	Cu	8.22	6.67	12.48	9.12	7.92	32.99
		Fe	485.78	589.49	533.17	536.15	3.29	2.81
		Mn	8.43	12.35	11.70	10.83	2.59	4.45
		Pb	13.01	14.73	16.44	14.73	5.02	0.67
กองขยะ	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.09	0.10	0.09	0.09	0.59	0.00
		Fe	58.31	61.62	61.98	60.64	1.04	0.00
		Mn	0.07	0.05	0.05	0.06	0.17	0.00
		Pb	0	0	0	0	0	0
	หลังลงคอลัมน์	Cu	6.28	4.73	5.50	5.50	2.68	1.79
		Fe	544.85	394.44	469.30	469.53	2.05	1.46
		Mn	9.08	2.22	5.82	5.71	0.79	3.66
		Pb	7.89	9.59	11.30	9.59	3.71	1.79

ตาราง จ.20 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ ในขั้นที่ 2

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 2					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
อู่รถ 2	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.36	0.38	0.36	0.37	4.43	0.01
		Fe	1.98	2.12	2.02	2.04	0.31	0.00
		Mn	1.36	1.51	1.41	1.43	6.63	0.01
		Pb	0.23	0.24	0.23	0.23	2.12	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	0	0	0	0	0	0
		Fe	4.33	5.01	5.01	4.79	0.03	0.02
		Mn	1.57	0.92	0.92	1.13	0.27	0.79
		Pb	16.44	16.44	21.58	18.51	6.19	1.15
กองขยะ	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.38	0.47	0.40	0.42	2.60	0.01
		Fe	50.20	50.22	50.21	50.21	0.86	0.00
		Mn	1.63	1.96	1.77	1.79	5.36	0.02
		Pb	0.20	0.20	0.20	0.20	2.10	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	3.57	3.95	3.57	3.70	1.80	0.51
		Fe	2.95	5.01	3.64	3.87	0.02	0.02
		Mn	6.47	5.16	5.49	5.71	0.79	0.73
		Pb	0	0	0	0	0	0

ตาราง จ.21 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ ในขั้นที่ 3

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 3					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
อู่รถ 2	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.21	0.21	0.21	0.21	2.52	0.00
		Fe	0.29	0.26	0.27	0.27	0.04	0.00
		Mn	1.80	1.97	1.81	1.86	8.63	0.02
		Pb	0.18	0.18	0.18	0.18	1.65	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	0	0	0	0	0	0
		Fe	31.80	13.26	19.44	21.50	0.13	2.77
		Mn	3.20	5.82	3.20	4.07	0.97	2.23
		Pb	26.71	26.71	28.43	27.28	9.30	3.66
กองขยะ	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.22	0.23	0.22	0.22	1.39	0.00
		Fe	92.26	93.27	93.27	92.93	1.60	0.00
		Mn	4.42	4.82	4.52	4.59	13.76	0.03
		Pb	0.17	0.17	0.17	0.17	1.74	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	0	0	0	0	0	0
		Fe	4.33	5.70	5.01	5.01	0.02	0.01
		Mn	20.52	18.89	14.97	18.13	2.50	3.04
		Pb	0	0	0	0	0	0

ตาราง จ.22 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ ในขั้นที่ 4

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 4					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
อู่รถ 2	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.93	1.35	1.08	1.12	13.49	0.10
		Fe	77.68	86.20	77.75	80.54	12.08	0.03
		Mn	12.08	12.65	12.95	12.56	58.33	0.08
		Pb	5.75	6.90	6.03	6.23	56.60	0.22
	หลังลงคอลัมน์	Cu	0	0	0	0	0	0
		Fe	358.72	261.88	281.80	300.80	1.85	2.77
		Mn	10.07	12.03	10.39	10.83	2.59	2.23
		Pb	42.12	50.69	60.96	51.26	17.47	3.66
กองขยะ	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	1.63	1.88	1.63	1.71	10.63	0.04
		Fe	1614.33	1695.90	1799.23	1703.15	29.25	0.06
		Mn	24.58	17.05	22.18	21.27	63.82	0.46
		Pb	5.75	5.05	5.38	5.39	56.88	0.15
	หลังลงคอลัมน์	Cu	3.57	3.95	3.57	3.70	1.80	0.51
		Fe	329.88	296.22	367.65	331.25	1.44	0.69
		Mn	13.99	7.45	13.01	11.48	1.59	3.76
		Pb	0	0	0	0	0	0

ตาราง จ.23 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ ในขั้นที่ 5

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 5					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
อู่รถ 2	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	3.46	3.95	3.52	3.65	70.46	0.13
		Fe	43.73	42.84	43.83	43.47	10.43	0.00
		Mn	1.01	0.95	1.00	0.99	7.33	0.01
		Pb	2.15	2.86	2.23	2.41	35.08	0.14
	หลังลงคอลัมน์	Cu	0	0	0	0	0	0
		Fe	256.37	203.63	301.43	253.81	1.56	2.65
		Mn	4.60	4.08	6.17	4.95	1.18	2.30
		Pb	83.84	89.32	94.80	89.32	30.44	2.13
กองขยะ	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	7.78	7.78	7.78	7.78	77.41	0.00
		Fe	960.11	950.62	970.02	960.25	26.39	0.01
		Mn	1.55	1.55	1.55	1.55	7.43	0.00
		Pb	1.59	1.65	1.44	1.56	26.34	0.05
	หลังลงคอลัมน์	Cu	11.91	13.77	13.14	12.94	6.31	2.19
		Fe	105.82	95.93	15.71	72.49	0.32	0.96
		Mn	6.17	5.65	6.69	6.17	0.85	0.55
		Pb	0	0	0	0	0	0

ตาราง จ.24 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ ในขั้นที่ 6

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 6					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
อู่รถ 2	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.17	0.15	0.16	0.16	7.65	0.00
		Fe	130.90	124.60	129.80	128.43	77.02	0.02
		Mn	1.00	0.97	1.00	0.99	18.43	0.00
		Pb	0.13	0.12	0.13	0.13	4.56	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	0	0	0	0	0	0
		Fe	716.55	722.05	756.39	731.66	4.49	1.17
		Mn	14.97	15.95	15.29	15.40	3.68	1.06
		Pb	52.40	57.53	59.25	56.39	19.22	1.38
กองขยะ	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.44	0.07	0.38	0.30	7.38	0.05
		Fe	622.90	607.60	554.20	594.90	40.87	0.02
		Mn	1.16	0.17	1.04	0.79	9.46	0.06
		Pb	0.43	0.21	0.28	0.31	12.94	0.05
	หลังลงคอลัมน์	Cu	14.81	18.68	18.68	17.39	8.47	5.17
		Fe	4209.68	4875.89	3770.12	4285.23	18.67	10.75
		Mn	43.40	53.20	43.40	46.67	6.44	6.03
		Pb	86.64	93.49	76.37	85.50	33.07	9.06

ตาราง จ.25 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ของดินอู่รถ (1)

จำนวนครั้งที่ชะ	โลหะ	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	% removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ครั้งที่ 1	Cu	124.74	119.16	115.91	119.94	29.51	1.10
	Fe	841.73	846.68	835.96	841.46	2.42	0.02
	Mn	461.88	452.47	438.75	451.03	21.87	0.56
	Pb	19.73	23.84	25.89	23.15	20.35	2.09
ครั้งที่ 2	Cu	45.58	42.80	42.79	43.72	10.67	0.40
	Fe	926.37	928.02	927.20	930.53	2.67	0.00
	Mn	114.91	106.20	130.98	117.36	5.70	0.61
	Pb	23.84	19.73	19.73	21.10	18.55	2.76
ครั้งที่ 3	Cu	14.05	15.91	16.37	15.44	3.80	0.30
	Fe	537.05	777.45	840.91	730.47	2.10	0.40
	Mn	40.31	48.16	56.00	48.16	2.34	0.38
	Pb	4.23	3.29	3.29	2.60	2.89	1.05
ครั้งที่ 4	Cu	0	0	0	0	0	0
	Fe	643.93	712.34	776.62	710.96	2.04	0.19
	Mn	0	0	0	0	0	0
	Pb	0	0	0	0	0	0

ตาราง จ.26 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ของดินอู่รถ (2)

จำนวนครั้งที่ชะ	โลหะ	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	% removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ครั้งที่ 1	Cu	82.88	80.09	79.16	80.71	70.05	1.68
	Fe	669.48	693.38	672.77	678.54	4.17	0.08
	Mn	326.59	320.71	326.59	324.63	77.56	0.81
	Pb	97.81	93.70	108.08	99.86	36.99	2.52
ครั้งที่ 2	Cu	12.09	13.96	12.56	12.87	11.17	0.84
	Fe	596.70	590.11	594.23	593.68	3.65	0.02
	Mn	60.00	66.27	61.57	62.61	14.96	0.78
	Pb	36.99	45.20	44.38	42.19	14.38	1.54
ครั้งที่ 3	Cu	6.51	4.19	4.19	4.96	4.30	1.16
	Fe	213.71	172.50	197.23	194.48	1.19	0.13
	Mn	26.66	18.43	12.55	19.21	4.59	1.69
	Pb	5.34	5.34	7.40	6.03	2.06	0.41
ครั้งที่ 4	Cu	0	0	0	0	0	0
	Fe	147.77	164.26	156.02	156.02	0.96	0.05
	Mn	0	0	0	0	0	0
	Pb	0	0	0	0	0	0

ตาราง จ.27 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ของดินกองขยะ

จำนวนครั้งที่ชะ	โลหะ	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	% removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ครั้งที่ 1	Cu	182.88	200.09	194.51	192.50	93.84	4.28
	Fe	890.36	901.89	895.30	895.58	3.90	0.03
	Mn	476.00	476.39	372.60	441.16	60.98	8.26
	Pb	114.27	124.52	124.52	121.10	46.84	2.29
ครั้งที่ 2	Cu	10.79	9.86	10.79	10.48	5.11	0.26
	Fe	609.06	585.16	604.95	599.72	2.61	0.06
	Mn	100.79	83.14	74.87	86.27	11.91	1.83
	Pb	39.04	41.10	41.14	40.23	15.56	0.46
ครั้งที่ 3	Cu	0	0	0	0	0	0
	Fe	271.40	256.57	348.87	292.28	1.27	0.22
	Mn	26.59	19.53	22.27	22.79	3.15	0.49
	Pb	9.45	7.40	7.40	8.08	3.13	0.46
ครั้งที่ 4	Cu	0	0	0	0	0	0
	Fe	246.68	228.54	267.28	247.50	1.08	0.08
	Mn	0	0	0	0	0	0
	Pb	0	0	0	0	0	0

ตาราง จ.28 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ของดินที่เก็บของเก่า

จำนวนครั้งที่ชะ	โลหะ	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	% removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ครั้งที่ 1	Cu	602.88	617.77	612.65	611.10	29.79	0.37
	Fe	967.83	976.01	972.77	969.20	2.88	0.01
	Mn	160.31	162.27	173.25	165.41	23.74	0.99
	Pb	204.66	231.36	200.25	212.19	41.79	3.30
ครั้งที่ 2	Cu	190.70	152.56	220.00	187.75	9315	1.65
	Fe	906.59	883.51	917.31	902.47	2.68	0.05
	Mn	37.96	32.47	43.45	37.96	5.45	0.72
	Pb	108.91	90.41	104.78	101.37	19.97	1.91
ครั้งที่ 3	Cu	58.70	56.37	61.95	59.01	2.88	0.14
	Fe	675.25	606.84	637.34	639.81	1.90	0.10
	Mn	13.65	17.18	14.82	15.22	2.18	0.26
	Pb	23.84	23.84	23.84	23.84	4.70	0.00
ครั้งที่ 4	Cu	0	0	0	0	0	0
	Fe	617.55	613.43	567.28	599.42	1.78	0.08
	Mn	0	0	0	0	0	0
	Pb	0	0	0	0	0	0

ภาคผนวก ฉ

ผลการทดลองของสารผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

ตาราง ฉ.1 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสมของดินอู่รถ (1)

โลหะ	ความเข้มข้น Na_2EDTA (M)	ความเข้มข้น $Na_2S_2O_5$ (M)	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	0.01	0.01	84.3	80.2	82.5	82.33	20.26	0.51
		0.10	97.0	96.5	96.8	96.77	23.81	0.06
		0.25	192.4	171.1	186.3	183.27	45.09	2.70
	0.05	0.01	96.4	90.7	88.1	91.73	22.57	1.04
		0.10	131.5	137.1	130.7	133.10	32.75	0.86
		0.25	218.3	223.4	222.5	221.40	54.47	0.67
	0.10	0.01	114.6	117.0	123.7	118.43	29.14	1.16
		0.10	137.8	159.2	146.1	147.70	36.34	2.65
		0.25	225.0	213.2	202.9	213.70	52.58	2.72
	0.15	0.01	113.2	117.4	138.7	123.10	30.29	3.36
		0.10	137.4	131.2	123.6	130.73	32.16	1.70
		0.25	103.6	127.5	181.8	137.63	33.86	9.86
เหล็ก	0.01	0.01	931.9	790.0	850.0	875.30	2.46	0.20
		0.10	4543.0	3689.0	4125.0	4119.00	11.84	1.23
		0.25	5984.0	6590.0	6380.0	6318.00	18.15	0.88
	0.05	0.01	3441.0	3514.0	3387.0	3447.33	9.91	0.18
		0.10	8888.0	8313.0	8383.0	8528.00	24.50	0.90
		0.25	13710.0	13900.0	13890.0	13833.33	39.75	0.31
	0.10	0.01	6460.0	6562.0	11380.0	8134.00	23.37	8.08
		0.10	13210.0	12540.0	13370.0	13040.00	37.47	1.27
		0.25	15670.0	17850.0	18480.0	17333.33	49.81	4.24
	0.15	0.01	5773.0	5948.0	6052.0	5924.33	17.02	0.41
		0.10	12020.0	11550.0	12900.0	12156.67	34.93	1.97
		0.25	12080.0	13900.0	21040.0	15673.33	45.04	13.61

ตาราง ฉ.1 (ต่อ)

โลหะ	ความเข้มข้น Na_2EDTA (M)	ความเข้นข้น $Na_2S_2O_5$ (M)	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
แมงกานีส	0.01	0.01	403.9	425.3	420.2	416.47	20.19	0.54
		0.10	535.2	558.0	545.3	546.17	26.48	0.55
		0.25	640.2	631.2	638.0	636.40	30.86	0.22
	0.05	0.01	532.9	554.8	552.0	546.57	26.50	0.58
		0.10	661.1	672.3	639.2	657.53	31.88	0.82
		0.25	767.6	840.9	796.2	801.57	38.86	1.79
	0.10	0.01	576.5	627.0	678.0	627.17	30.41	2.46
		0.10	652.1	671.5	664.1	662.57	32.12	0.47
		0.25	773.7	1024.0	789.1	862.27	41.81	6.80
	0.15	0.01	624.2	642.8	243.4	503.47	24.41	10.03
		0.10	542.6	560.4	652.5	585.17	28.37	2.86
		0.25	662.6	702.1	771.7	692.13	35.56	1.26
ตะกั่ว	0.01	0.01	6.00	4.6	5.0	5.20	4.57	0.63
		0.10	10.2	7.7	9.5	9.13	8.03	1.13
		0.25	15.0	16.5	15.7	15.73	13.38	0.66
	0.05	0.01	18.6	17.5	17.1	17.73	15.59	0.68
		0.10	38.8	37.7	36.2	37.57	33.03	1.15
		0.25	33.2	33.7	38.9	35.27	31.01	2.78
	0.10	0.01	24.8	23.2	30.4	26.13	22.98	3.32
		0.10	39.0	46.5	34.3	39.93	35.11	5.41
		0.25	38.2	41.7	40.2	40.03	35.20	1.54
	0.15	0.01	18.5	18.1	22.6	19.73	17.35	2.19
		0.10	20.6	19.6	21.9	20.70	18.20	1.01
		0.25	30.2	33.6	32.4	32.07	28.19	1.52

ตาราง ฉ.2 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสมของดินอู่รถ (2)

โลหะ	ความเข้มข้น Na_2EDTA (M)	ความเข้นข้น $Na_2S_2O_5$ (M)	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	0.01	0.01	56.2	56.3	56.1	56.20	48.77	0.09
		0.10	72.1	69.2	70.3	70.53	61.21	1.27
		0.25	91.3	105.2	95.8	97.43	84.56	6.16
	0.05	0.01	52.1	52.4	48.4	50.97	44.23	1.91
		0.10	55.5	56.6	53.5	54.87	47.61	1.03
		0.25	101.0	99.2	92.7	97.63	84.73	3.79
	0.10	0.01	64.2	61.6	62.6	62.80	54.50	1.14
		0.10	77.9	85.3	91.3	84.83	73.62	5.83
		0.25	99.9	110.1	105.2	105.07	91.18	4.43
	0.15	0.01	55.4	56.3	55.3	55.67	48.31	0.48
		0.10	55.6	57.8	58.0	57.13	49.58	1.16
		0.25	58.0	74.2	65.6	65.93	57.22	7.03
เหล็ก	0.01	0.01	257.3	363.4	320.8	313.83	1.93	0.33
		0.10	1138.0	1013.0	112.0	1090.33	6.70	0.41
		0.25	1320.0	1182.0	1260.0	1254.00	7.70	0.42
	0.05	0.01	473.3	484.0	491.5	482.93	2.97	0.06
		0.10	1479.0	1368.0	1342.0	1396.33	8.57	0.45
		0.25	2100.0	2003.0	1589.0	1897.33	11.65	1.67
	0.10	0.01	1560.0	1785.0	1459.0	1601.33	9.83	1.02
		0.10	1973.0	1666.0	1722.0	1787.00	10.97	1.00
		0.25	3215.0	3280.0	3416.0	3303.67	20.29	0.63
	0.15	0.01	807.8	889.4	880.9	859.37	5.28	0.28
		0.10	887.1	1106.0	1236.0	1076.37	6.61	1.08
		0.25	1167.0	1500.0	1418.0	1361.67	8.36	1.07

ตาราง ฉ.2 (ต่อ)

โลหะ	ความเข้มข้น Na_2EDTA (M)	ความเข้นข้น $Na_2S_2O_5$ (M)	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
แมงกานีส	0.01	0.01	104.9	98.0	98.8	100.57	24.03	0.90
		0.10	137.2	138.1	163.3	137.20	32.78	0.22
		0.25	299.9	321.0	347.6	322.83	77.13	5.71
	0.05	0.01	352.3	259.1	258.0	256.47	61.27	0.87
		0.10	335.9	354.6	337.4	342.63	81.86	2.48
		0.25	386.0	353.9	638.2	369.37	88.25	3.84
	0.10	0.01	267.0	280.8	275.1	374.30	65.53	1.66
		0.10	338.8	349.4	340.5	342.90	81.92	1.36
		0.25	358.8	400.8	388.9	382.83	91.46	5.17
	0.15	0.01	204.4	207.6	206.5	206.17	49.26	0.39
		0.10	221.4	258.7	253.4	244.50	58.41	4.82
		0.25	243.4	257.9	263.0	256.43	61.27	2.95
ตะกั่ว	0.01	0.01	67.7	71.6	69.0	48.73	16.61	12.37
		0.10	55.0	50.5	52.2	52.57	17.92	0.77
		0.25	85.1	73.2	77.2	78.50	26.76	2.06
	0.05	0.01	61.0	64.0	68.7	64.57	22.01	1.32
		0.10	73.8	82.4	96.4	84.20	28.70	3.89
		0.25	84.1	86.5	76.0	82.20	28.02	1.88
	0.10	0.01	80.7	86.6	83.7	83.67	28.52	1.01
		0.10	111.2	107.8	103.6	107.53	36.65	1.30
		0.25	119.1	116.0	112.1	115.73	39.45	1.20
	0.15	0.01	32.8	35.2	34.2	34.07	11.61	0.41
		0.10	49.3	58.3	57.6	55.07	18.77	1.71
		0.25	55.1	76.6	132.7	88.13	30.04	13.66

ตาราง ฉ.3 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสมของดินกองขยะ

โลหะ	ความเข้มข้น Na_2EDTA (M)	ความเข้นข้น $Na_2S_2O_5$ (M)	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	0.01	0.01	112.7	117.8	115.2	115.23	56.18	1.24
		0.10	164.5	185.6	175.1	175.07	85.34	5.14
		0.25	188.6	178.3	185.8	184.23	89.81	2.60
	0.05	0.01	158.5	160.4	164.3	161.07	78.52	1.44
		0.10	168.6	171.9	172.3	170.93	88.33	0.99
		0.25	169.4	173.5	169.2	170.70	83.22	1.18
	0.10	0.01	192.7	161.5	171.9	175.37	85.49	7.74
		0.10	193.3	190.0	192.6	191.97	93.58	0.85
		0.25	184.6	194.3	182.3	187.07	91.20	3.10
	0.15	0.01	164.1	144.6	170.2	159.63	77.82	6.52
		0.10	161.0	172.3	147.3	160.20	78.10	6.10
		0.25	184.2	183.1	183.3	183.52	89.47	0.29
เหล็ก	0.01	0.01	504.0	339.4	330.3	391.23	1.70	0.43
		0.10	1134.0	1387.0	1222.0	1247.67	5.44	0.56
		0.25	1609.0	1444.0	1580.0	1544.33	6.73	0.38
	0.05	0.01	1064.0	1068.0	1063.0	1065.00	4.64	0.01
		0.10	1785.0	1771.0	1775.0	1777.00	7.74	0.03
		0.25	1899.0	1756.0	1750.0	1081.67	7.85	0.37
	0.10	0.01	1142.0	1058.0	1130.0	1110.00	4.84	0.020
		0.10	1834.0	1740.0	1719.0	1764.33	7.69	0.27
		0.25	1870.0	1716.0	1842.0	1809.33	7.88	0.36
	0.15	0.01	1097.0	752.2	758.8	869.33	3.79	0.86
		0.10	1002.0	970.0	993.0	988.33	4.31	0.07
		0.25	1090.0	1084.0	1075.0	1083.00	4.72	0.03

ตาราง ฉ.3 (ต่อ)

โลหะ	ความเข้มข้น Na_2EDTA (M)	ความเข้นข้น $Na_2S_2O_5$ (M)	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
แมงกานีส	0.01	0.01	288.2	318.8	300.9	302.63	41.79	2.12
		0.10	406.8	426.3	417.5	416.87	57.56	1.35
		0.25	589.5	568.4	563.2	573.70	79.22	1.92
	0.05	0.01	361.4	382.4	355.1	366.30	50.58	1.97
		0.10	457.1	507.0	447.5	470.53	64.97	4.41
		0.25	603.0	591.1	588.2	549.10	82.03	1.08
	0.10	0.01	404.9	378.9	401.4	395.07	54.55	1.95
		0.10	473.4	467.0	497.7	479.37	66.19	2.24
		0.25	601.2	588.5	595.6	595.10	82.17	0.88
	0.15	0.01	412.7	362.2	366.1	380.33	52.52	3.88
		0.10	449.9	466.9	443.9	453.51	62.63	1.65
		0.25	540.7	502.6	549.9	531.07	73.33	3.46
ตะกั่ว	0.01	0.01	58.0	56.3	57.5	57.27	22.15	0.34
		0.10	73.0	73.4	73.0	73.13	28.29	0.09
		0.25	95.6	98.3	96.5	96.80	37.44	0.53
	0.05	0.01	80.3	62.6	77.8	73057	28.46	3.71
		0.10	90.8	87.0	98.8	92.20	35.66	2.33
		0.25	101.3	152.6	95.6	116.50	45.06	12.14
	0.10	0.01	69.6	78.6	73.2	73.80	28.55	1.75
		0.10	114.5	115.8	114.9	115.07	44.51	0.26
		0.25	94.6	112.5	150.0	119.03	46.04	10.94
	0.15	0.01	58.8	60.5	58.1	59.13	22.87	0.48
		0.10	72.3	73.1	70.0	71.80	27.88	0.62
		0.25	105.4	97.2	106.7	103.10	39.88	1.99

ตาราง ฉ.4 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสมของดินที่เก็บของเก่า

โลหะ	ความเข้มข้น Na_2EDTA (M)	ความเข้นข้น $Na_2S_2O_5$ (M)	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	0.01	0.01	397.9	512.7	450.2	453.6	22.11	2.80
		0.10	670.4	689.8	677.5	479.23	33.11	0.48
		0.25	816.8	803.7	933.9	851.47	41.51	3.49
	0.05	0.01	547.2	530.1	553.9	543.73	26.51	0.60
		0.10	896.4	865.5	920.2	894.03	43.58	1.34
		0.25	932.8	1185.0	1568.0	1228.60	59.89	15.59
	0.10	0.01	815.5	703.7	702.5	740.51	36.10	3.16
		0.10	1014.0	858.0	945.0	954.00	46.51	3.84
		0.25	1314.0	1219.0	1282.0	1271.67	61.99	2.36
	0.15	0.01	796.2	705.5	720.2	731.63	35.67	1.63
		0.10	817.9	747.0	116.0	893.63	43.56	9.55
		0.25	853.6	827.3	983.9	873.27	42.57	2.84
เหล็ก	0.01	0.01	380.6	280.5	320.1	327.07	0.97	0.15
		0.10	1630.0	1645.0	1640.0	1638.33	4.87	0.02
		0.25	2931.0	2860.0	2875.0	2888.67	8.59	0.11
	0.05	0.01	1839.0	1900.0	1800.0	1846.33	5.49	0.15
		0.10	3408.0	3273.0	4033.0	3571.33	10.62	1.21
		0.25	5616.0	5666.0	5656.0	5646.00	16.78	0.08
	0.10	0.01	4627.0	3651.0	4575.0	4284.33	12.74	1.63
		0.10	5445.0	5117.0	7054.0	5872.00	17.46	3.08
		0.25	7028.0	7696.0	8137.0	7620.33	22.65	1.66
	0.15	0.01	3383.0	3888.0	3824.0	3698.33	10.99	0.82
		0.10	5650.0	5425.0	5778.0	5617.67	16.70	0.53
		0.25	6653.0	7288.0	8807.0	7582.67	22.54	3.29

ตาราง ฉ.4 (ต่อ)

โลหะ	ความเข้มข้น Na_2EDTA (M)	ความเข้นข้น $Na_2S_2O_5$ (M)	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
แมงกานีส	0.01	0.01	49.4	55.6	50.2	51.73	7.43	0.48
		0.10	121.0	129.4	127.5	125.97	18.08	0.63
		0.25	149.9	139.5	137.7	142.37	20.44	0.95
	0.05	0.01	109.3	100.5	105.1	104.97	15.07	0.63
		0.10	141.8	132.5	148.3	140.87	20.22	1.14
		0.25	175.5	171.7	170.6	172.60	24.77	0.37
	0.10	0.01	158.0	132.7	150.0	146.90	21.09	1.86
		0.10	163.9	164.5	164.1	164.17	23.56	0.04
		0.25	177.7	171.1	176.8	175.20	25.15	0.51
	0.15	0.01	135.4	135.4	135.4	135.40	19.44	0.00
		0.10	136.5	134.4	142.6	137.83	19.78	0.61
		0.25	133.1	149.2	164.6	148.97	21.38	2.26
ตะกั่ว	0.01	0.01	53.6	60.5	55.5	56.53	11.14	0.70
		0.10	110.3	119.5	112.4	114.07	22.47	0.95
		0.25	124.6	131.8	126.5	127.63	25.14	0.73
	0.05	0.01	114.8	110.8	110.3	111.97	22.05	0.49
		0.10	149.6	154.5	159.1	154.40	30.41	0.94
		0.25	172.0	177.8	174.3	174.70	34.41	0.58
	0.10	0.01	171.6	140.5	218.0	176.70	34.80	7.68
		0.10	174.9	190.0	181.8	182.23	35.89	1.49
		0.25	183.1	190.0	189.8	187.63	36.96	0.77
	0.15	0.01	152.6	141.2	166.8	153.53	30.24	2.53
		0.10	187.1	153.9	149.5	163.50	32.20	4.05
		0.25	151.3	175.1	175.4	167.27	32.95	2.72

ตาราง ฉ. 5 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสม ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอู่รถ (1)

โลหะ	อัตราส่วน ดิน : สารละลาย	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	1:05	95.0	145.5	104.3	114.93	28.28	6.61
	1:10	125.0	125.0	125.0	125.00	30.75	0.00
	1:15	182.3	160.8	171.4	171.50	42.19	2.64
	1:20	167.5	140.5	160.2	189.40	46.60	10.92
	1:30	225.0	213.2	202.9	213.70	52.58	2.72
เหล็ก	1:05	3611.0	4925.0	5335.0	4623.67	13.29	2.59
	1:10	5430.0	5360.0	5380.0	5390.00	15.49	0.10
	1:15	10460.0	9571.0	9897.0	9976.00	28.66	1.29
	1:20	11140.0	12290.0	12260.0	11896.67	34.18	1.88
	1:30	15670.0	17850.0	18480.0	17733.33	49.81	4.24
แมงกานีส	1:05	366.8	402.4	373.6	380.93	18.47	0.92
	1:10	442.3	504.6	469.2	472.03	22.89	1.51
	1:15	685.6	589.7	640.2	638.50	30.96	2.33
	1:20	618.2	642.0	654.3	638.17	30.94	0.89
	1:30	773.7	1024.0	789.1	862.27	41.81	6.80
ตะกั่ว	1:05	16.2	18.6	19.4	18.07	15.88	1.46
	1:10	19.5	18.4	18.9	18.93	16.65	0.48
	1:15	31.6	32.4	31.5	31.83	27.99	0.43
	1:20	28.8	30.8	32.1	30.57	26.87	1.46
	1:30	38.2	41.7	40.2	40.03	35.20	1.54

ตาราง ฉ. 6 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสม ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอู่รถ (2)

โลหะ	อัตราส่วน ดิน : สารละลาย	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	1:05	55.1	60.1	56.3	57.17	47.82	2.27
	1:10	73.2	86.9	91.2	83.77	63.53	8.16
	1:15	88.8	98.1	96.0	94.30	77.06	4.23
	1:20	87.5	102.2	96.1	95.27	75.94	6.41
	1:30	99.9	110.1	105.2	105.07	86.70	4.43
เหล็ก	1:05	790.7	787.0	788.0	788.57	4.84	0.01
	1:10	909.3	1058.0	1008.0	991.77	6.09	0.46
	1:15	1250.0	1548.0	1397.0	1398.33	8.59	0.92
	1:20	1336.0	1549.0	1551.0	1478.67	9.08	0.76
	1:30	3215.0	3280.0	3416.0	3303.67	20.29	0.63
แมงกานีส	1:05	194.6	205.6	196.7	198.97	47.54	1.40
	1:10	270.7	218.0	265.4	272.37	65.07	1.90
	1:15	288.7	326.8	296.9	304.13	72.66	4.79
	1:20	303.7	317.6	329.4	316.90	75.71	3.07
	1:30	258.8	400.8	388.9	382.83	91.46	5.17
ตะกั่ว	1:05	51.6	47.4	50.2	49.73	16.95	0.73
	1:10	66.4	71.6	64.5	67.50	23.01	1.25
	1:15	71.6	80.7	81.9	78.07	26.61	1.92
	1:20	72.3	87.7	77.1	79.03	26.94	2.69
	1:30	119.1	116.0	112.1	115.73	39.45	1.20

ตาราง ฉ. 7 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสม ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินกองขยะ

โลหะ	อัตราส่วน ดิน : สารละลาย	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	1:05	97.9	105.0	98.8	100.57	49.03	1.88
	1:10	154.0	153.4	153.6	153.67	74.91	0.15
	1:15	169.8	170.8	169.9	170.17	82.96	0.27
	1:20	203.2	190.1	197.5	169.93	96.00	3.20
	1:30	200.1	204.2	199.3	201.20	98.08	1.28
เหล็ก	1:05	648.4	668.9	658.7	658.67	2.87	0.04
	1:10	1309.0	1210.0	1280.0	1266.33	5.52	0.22
	1:15	1642.0	1662.0	1653.0	1652.00	7.20	0.04
	1:20	1863.0	1852.0	1856.0	1848.00	8.05	0.09
	1:30	1870.0	1716.0	1842.0	1809.33	7.88	0.36
แมงกานีส	1:05	206.0	226.2	211.5	214.57	29.63	1.44
	1:10	322.5	303.4	310.3	312.07	43.09	1.34
	1:15	386.1	365.4	372.2	374.57	51.72	1.46
	1:20	443.9	428.0	433.7	435.20	60.09	1.11
	1:30	601.2	588.5	595.6	595.10	82.17	0.88
ตะกั่ว	1:05	44.2	46.9	45.8	45.63	17.65	0.53
	1:10	69.0	64.0	68.0	67.00	25.92	1.02
	1:15	75.4	73.1	74.2	74.23	28.71	0.44
	1:20	86.0	79.3	83.2	82.83	32.04	1.30
	1:30	94.6	112.5	150.0	119.03	46.04	10.94

ตาราง ฉ. 8 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสม ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินที่เก็บของเก่า

โลหะ	อัตราส่วน ดิน : สารละลาย	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	%removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ทองแดง	1:05	639.5	435.1	467.3	423.97	20.67	2.43
	1:10	648.7	739.3	689.2	692.40	33.75	2.21
	1:15	725.9	835.8	780.2	780.63	38.06	2.68
	1:20	1137.0	1247.0	1228.0	1204.00	58.70	2.87
	1:30	1314.0	1219.0	1282.0	1271.67	61.99	2.36
เหล็ก	1:05	840.3	1336.0	1069.0	1090.77	3.24	0.07
	1:10	2038.0	2045.0	2040.0	2041.00	6.07	0.01
	1:15	3865.0	4038.0	3949.0	3950.67	11.74	0.26
	1:20	4843.0	6527.0	5239.0	5536.33	16.46	2.62
	1:30	7028.0	7696.0	8137.0	7620.33	22.65	1.66
แมงกานีส	1:05	52.1	60.3	64.2	58.87	8.45	0.89
	1:10	104.3	102.4	103.2	103.30	14.83	0.14
	1:15	122.1	120.0	120.8	120.97	17.36	0.15
	1:20	142.3	160.2	158.1	153.53	22.04	1.40
	1:30	177.7	171.1	176.8	175.20	25.15	0.51
ตะกั่ว	1:05	61.6	70.7	74.7	69.00	13.59	1.32
	1:10	106.5	106.4	106.3	106.40	20.96	0.02
	1:15	128.9	131.5	129.2	129.90	25.59	0.28
	1:20	158.7	166.6	162.2	162.50	32.01	0.78
	1:30	183.1	190.0	189.8	187.63	36.69	0.77

ตารางที่ ฉ.9 ปริมาณทองแดงที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	15.44	3.80	3.80	9.85	8.55	8.55
2	10	11.84	2.91	6.71	7.71	6.69	15.23
3	15	8.49	2.09	8.80	6.72	5.83	21.07
4	20	6.73	1.66	10.46	5.28	4.58	25.65
5	25	5.50	1.35	11.81	4.13	3.58	29.23
6	30	4.86	1.20	13.01	3.13	2.72	31.95
7	35	4.30	1.06	14.06	2.54	2.21	34.16
8	40	3.88	0.95	15.02	2.16	1.88	36.04
9	45	3.74	0.92	15.94	1.85	1.60	37.64
10	50	3.27	0.80	16.74	1.58	1.37	39.01
11	60	6.67	1.64	18.38	2.70	2.34	41.36
12	70	6.00	1.48	19.86	2.53	2.20	43.55
13	80	5.04	1.24	21.10	2.16	1.87	45.42
14	90	5.85	1.44	22.54	1.82	1.58	47.00
15	100	4.89	1.20	23.74	1.58	1.38	48.38
16	110	5.43	1.34	25.07	1.57	1.36	49.74
17	120	5.17	1.27	26.35	1.58	1.38	51.11
18	130	4.78	1.18	27.52	1.62	1.40	52.52
19	140	4.61	1.13	28.65	1.51	1.31	53.82
20	150	4.25	1.05	29.70	1.55	1.35	55.17

ตารางที่ ฉ.9 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	4.22	1.04	30.74	1.74	1.51	56.68
22	170	4.03	0.99	31.73	1.66	1.44	58.12
23	180	3.89	0.96	32.69	1.17	1.01	59.13
24	190	3.76	0.92	33.61	1.18	1.03	60.16
25	200	3.38	0.83	34.45	1.29	1.12	61.28
26	210	3.12	0.77	35.21	0.86	0.74	62.02
27	220	3.01	0.74	35.95	0.75	0.65	62.67
28	230	3.00	0.74	36.69	0.64	0.55	63.23
29	240	2.87	0.71	37.40	0.64	0.55	63.78
30	250	2.79	0.69	38.08	0.55	0.47	64.25
31	260	2.20	0.54	38.63	0.64	0.55	64.81
32	270	1.99	0.49	39.12	0.41	0.35	65.16
33	280	1.83	0.45	39.57	0.38	0.33	65.49
34	290	1.44	0.36	39.92	0.36	0.31	65.80
35	300	1.24	0.31	40.23	0.33	0.29	66.08

ตารางที่ ฉ.9 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	15.90	7.75	7.75	16.00	0.78	0.78
2	10	13.23	6.45	14.20	15.95	0.78	1.56
3	15	9.06	4.42	18.62	15.83	0.77	2.33
4	20	7.23	3.53	22.15	15.80	0.77	3.10
5	25	5.75	2.80	24.95	15.78	0.77	3.87
6	30	4.72	2.30	27.26	15.71	0.77	4.63
7	35	4.09	1.99	29.25	15.82	0.77	5.41
8	40	3.61	1.76	31.01	15.60	0.76	6.17
9	45	3.39	1.65	32.66	15.75	0.77	6.93
10	50	3.10	1.51	34.17	15.61	0.76	7.69
11	60	5.46	2.66	36.83	31.04	1.51	9.21
12	70	4.96	2.42	39.25	30.25	1.47	10.68
13	80	4.62	2.25	41.51	30.70	1.50	12.18
14	90	4.24	2.06	43.57	29.62	1.44	13.62
15	100	3.82	1.86	45.43	28.96	1.41	15.04
16	110	3.31	1.61	47.04	27.06	1.32	16.35
17	120	2.72	1.32	48.37	23.93	1.17	17.52
18	130	2.34	1.14	49.51	21.83	1.06	18.59
19	140	2.08	1.01	50.52	19.01	0.93	19.51
20	150	1.41	0.69	51.21	19.96	0.97	20.48

ตารางที่ ฉ.9 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	1.52	0.74	51.96	15.26	0.74	21.23
22	170	1.55	0.76	52.71	14.24	0.69	21.92
23	180	1.38	0.67	53.39	12.79	0.62	22.55
24	190	1.23	0.60	53.99	6.00	0.29	22.84
25	200	1.21	0.59	54.58	5.09	0.25	23.09
26	210	1.15	0.56	55.14	4.84	0.24	23.32
27	220	1.10	0.54	55.68	4.86	0.24	23.56
28	230	1.07	0.52	56.20	4.64	0.23	23.79
29	240	1.13	0.55	56.75	4.25	0.21	23.99
30	250	1.00	0.49	57.24	4.11	0.20	24.19
31	260	0.92	0.45	57.68	3.72	0.18	24.38
32	270	0.75	0.36	58.05	3.49	0.17	24.55
33	280	0.90	0.44	58.49	3.44	0.17	24.71
34	290	1.20	0.58	59.07	3.21	0.16	24.87
35	300	1.03	0.50	59.57	3.37	0.16	25.03

ตารางที่ ฉ.10 ปริมาณเหล็กที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	15.48	0.04	0.04	10.73	0.07	0.07
2	10	17.83	0.05	0.10	9.70	0.06	0.13
3	15	17.93	0.05	0.15	10.65	0.07	0.19
4	20	18.42	0.05	0.20	11.25	0.07	0.26
5	25	18.60	0.05	0.25	11.94	0.07	0.33
6	30	18.92	0.05	0.31	12.12	0.07	0.41
7	35	18.80	0.05	0.36	12.35	0.08	0.48
8	40	18.64	0.05	0.42	12.27	0.08	0.56
9	45	18.81	0.05	0.47	12.39	0.08	0.64
10	50	18.69	0.05	0.52	12.17	0.07	0.71
11	60	37.26	0.11	0.63	24.93	0.15	0.86
12	70	37.45	0.11	0.74	25.31	0.16	1.02
13	80	37.67	0.11	0.85	25.94	0.16	1.18
14	90	37.51	0.11	0.95	26.05	0.16	1.34
15	100	37.29	0.11	1.06	26.35	0.16	1.50
16	110	37.12	0.11	1.17	26.96	0.17	1.66
17	120	36.74	0.11	1.27	27.76	0.17	1.84
18	130	36.85	0.11	1.38	28.55	0.18	2.01
19	140	36.11	0.10	1.48	28.74	0.18	2.19
20	150	35.75	0.10	1.59	29.40	0.18	2.37

ตารางที่ ฉ.10 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	36.19	0.10	1.69	30.61	0.19	2.56
22	170	35.34	0.10	1.79	31.00	0.19	2.75
23	180	34.73	0.10	1.89	29.51	0.18	2.93
24	190	36.30	0.10	2.00	29.84	0.18	3.11
25	200	34.95	0.10	2.10	27.67	0.17	3.28
26	210	34.79	0.10	2.20	23.41	0.14	3.42
27	220	34.16	0.10	2.29	26.79	0.16	3.59
28	230	34.54	0.10	2.39	25.09	0.15	3.74
29	240	33.88	0.10	2.49	24.73	0.15	3.89
30	250	33.69	0.10	2.59	22.54	0.14	4.03
31	260	33.47	0.10	2.68	25.28	0.16	4.19
32	270	33.72	0.10	2.78	16.44	0.10	4.29
33	280	33.33	0.10	2.88	13.50	0.08	4.37
34	290	32.89	0.09	2.97	12.59	0.08	4.45
35	300	32.56	0.09	3.06	10.75	0.07	4.52

ตารางที่ ฉ.10 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	16.08	0.07	0.07	16.82	0.05	0.05
2	10	16.42	0.07	0.14	18.03	0.05	0.10
3	15	16.46	0.07	0.21	18.25	0.05	0.16
4	20	16.50	0.07	0.29	18.52	0.06	0.21
5	25	15.86	0.07	0.35	18.69	0.06	0.27
6	30	16.05	0.07	0.42	18.73	0.06	0.32
7	35	16.09	0.07	0.49	18.80	0.06	0.38
8	40	16.10	0.07	0.56	18.88	0.06	0.44
9	45	16.08	0.07	0.63	18.75	0.06	0.49
10	50	16.03	0.07	0.70	18.97	0.06	0.55
11	60	31.93	0.14	0.84	37.65	0.11	0.66
12	70	31.93	0.14	0.98	37.89	0.11	0.77
13	80	31.99	0.14	1.12	37.65	0.11	0.88
14	90	31.93	0.14	1.26	37.70	0.11	1.00
15	100	31.74	0.14	1.40	37.76	0.11	1.11
16	110	31.52	0.14	1.54	37.54	0.11	1.22
17	120	30.75	0.13	1.67	37.54	0.11	1.33
18	130	30.12	0.13	1.80	37.67	0.11	1.44
19	140	29.62	0.13	1.93	37.62	0.11	1.56
20	150	27.18	0.12	2.05	37.26	0.11	1.67

ตารางที่ ฉ.10 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	27.48	0.12	2.17	37.32	0.11	1.78
22	170	27.62	0.12	2.29	36.61	0.11	1.89
23	180	26.55	0.12	2.41	37.37	0.11	2.00
24	190	25.23	0.11	2.52	34.13	0.10	2.10
25	200	25.15	0.11	2.63	33.80	0.10	2.20
26	210	24.49	0.11	2.73	33.69	0.10	2.30
27	220	23.96	0.10	2.84	33.58	0.10	2.40
28	230	23.74	0.10	2.94	33.33	0.10	2.50
29	240	23.91	0.10	3.04	33.22	0.10	2.60
30	250	21.90	0.10	3.14	32.92	0.10	2.70
31	260	20.70	0.09	3.23	32.73	0.10	2.79
32	270	17.62	0.08	3.31	32.67	0.10	2.89
33	280	19.43	0.08	3.39	32.62	0.10	2.99
34	290	22.54	0.10	3.49	32.65	0.10	3.08
35	300	20.91	0.09	3.58	32.37	0.10	3.18

ตารางที่ ฉ.11 ปริมาณแมงกานีสที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	12.93	0.63	0.63	10.04	2.40	2.40
2	10	12.87	0.62	1.25	9.74	2.33	4.73
3	15	12.80	0.62	1.87	9.65	2.31	7.03
4	20	12.19	0.59	2.46	9.39	2.24	9.28
5	25	9.87	0.48	2.94	9.14	2.18	11.46
6	30	9.89	0.48	3.42	8.58	2.05	13.51
7	35	9.76	0.47	3.89	8.28	1.98	15.49
8	40	9.84	0.48	4.37	8.13	1.94	17.43
9	45	9.84	0.48	4.85	7.97	1.90	19.33
10	50	9.74	0.47	5.32	7.82	1.87	21.20
11	60	19.47	0.94	6.26	15.40	3.68	24.88
12	70	19.45	0.94	7.21	15.30	3.66	28.54
13	80	19.30	0.94	8.14	14.95	3.57	32.11
14	90	18.95	0.92	9.06	14.42	3.44	35.55
15	100	18.98	0.92	9.98	14.14	3.38	38.93
16	110	18.90	0.92	10.90	13.71	3.28	42.21
17	120	18.82	0.91	11.81	13.96	3.33	45.54
18	130	18.70	0.91	12.72	13.91	3.32	48.86
19	140	18.66	0.90	13.62	13.57	3.24	52.10
20	150	18.21	0.88	14.51	13.45	3.21	55.32

ตารางที่ ฉ.11 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	17.79	0.86	15.37	14.30	3.42	58.73
22	170	17.84	0.86	16.23	13.27	3.17	61.90
23	180	17.61	0.85	17.09	9.71	2.32	64.22
24	190	15.36	0.74	17.83	9.53	2.28	66.50
25	200	13.13	0.64	18.47	10.02	2.39	68.89
26	210	12.52	0.61	19.07	10.27	2.45	71.35
27	220	11.63	0.56	19.64	5.40	1.29	72.64
28	230	11.38	0.55	20.19	4.44	1.06	73.70
29	240	7.06	0.34	20.53	4.15	0.99	74.69
30	250	5.44	0.26	20.80	3.44	0.82	75.51
31	260	5.11	0.25	21.04	4.12	0.98	76.49
32	270	4.68	0.23	21.27	2.04	0.49	76.98
33	280	4.23	0.21	21.48	1.80	0.43	77.41
34	290	3.54	0.17	21.65	1.75	0.42	77.83
35	300	3.15	0.15	21.80	1.45	0.35	78.17

ตารางที่ ฉ.11 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	10.13	1.40	1.40	7.64	1.10	1.10
2	10	9.98	1.38	2.78	8.31	1.19	2.29
3	15	9.79	1.35	4.13	8.07	1.16	3.45
4	20	9.84	1.36	5.49	7.76	1.11	4.56
5	25	9.71	1.34	6.83	7.67	1.10	5.66
6	30	9.60	1.33	8.15	7.29	1.05	6.71
7	35	9.63	1.33	9.48	6.99	1.00	7.71
8	40	9.49	1.31	10.79	7.00	1.00	8.72
9	45	9.38	1.29	12.09	6.72	0.97	9.68
10	50	9.36	1.29	13.38	6.57	0.94	10.63
11	60	18.64	2.57	15.95	13.57	1.95	12.57
12	70	18.31	2.53	18.48	12.49	1.79	14.37
13	80	18.34	2.53	21.01	11.61	1.67	16.03
14	90	17.98	2.48	23.50	11.38	1.63	17.67
15	100	17.42	2.41	25.90	7.04	1.01	18.68
16	110	16.64	2.30	28.20	7.17	1.03	19.71
17	120	15.12	2.09	30.29	6.90	0.99	20.70
18	130	13.57	1.87	32.16	6.56	0.94	21.64
19	140	12.45	1.72	33.88	5.98	0.86	22.50
20	150	8.73	1.21	35.09	5.30	0.76	23.26

ตารางที่ ฉ.11 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	9.34	1.29	36.38	5.41	0.78	24.04
22	170	9.49	1.31	37.69	5.17	0.74	24.78
23	180	8.27	1.14	38.83	4.79	0.69	25.47
24	190	6.87	0.95	39.78	4.65	0.67	26.13
25	200	6.72	0.93	40.71	4.85	0.70	26.83
26	210	6.55	0.90	41.61	4.61	0.66	27.49
27	220	6.34	0.88	42.49	3.97	0.57	28.06
28	230	6.02	0.83	43.32	3.93	0.56	28.63
29	240	6.30	0.87	44.19	3.45	0.49	29.12
30	250	5.12	0.71	44.89	3.10	0.44	29.57
31	260	4.64	0.64	45.53	3.15	0.45	30.02
32	270	3.53	0.49	46.02	3.03	0.43	30.45
33	280	4.21	0.58	46.60	2.85	0.41	30.86
34	290	5.13	0.71	47.31	2.40	0.34	31.21
35	300	5.28	0.73	48.04	2.01	0.29	31.49

ตารางที่ ฉ.12 ปริมาณตะกั่วที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ชะแบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	3.99	3.51	3.51	11.53	3.93	3.93
2	10	2.90	2.55	6.06	8.55	2.91	6.84
3	15	2.83	2.49	8.55	7.90	2.69	9.53
4	20	2.79	2.46	11.00	6.66	2.27	11.81
5	25	2.83	2.49	13.49	4.34	1.48	13.28
6	30	2.76	2.43	15.92	3.89	1.33	14.61
7	35	2.73	2.40	18.31	3.27	1.12	15.72
8	40	2.69	2.37	20.68	3.03	1.03	16.76
9	45	2.59	2.28	22.96	2.73	0.93	17.69
10	50	2.21	1.95	24.90	2.42	0.82	18.51
11	60	3.47	3.05	27.95	4.63	1.58	20.09
12	70	4.15	3.65	31.60	4.08	1.39	21.48
13	80	2.85	2.51	34.10	3.74	1.27	22.76
14	90	2.51	2.20	36.31	3.33	1.13	23.89
15	100	2.37	2.08	38.39	2.92	0.99	24.89
16	110	2.10	1.84	40.23	2.99	1.02	25.90
17	120	1.75	1.54	41.77	3.05	1.04	26.94
18	130	1.55	1.36	43.13	2.99	1.02	27.96
19	140	1.27	1.12	44.25	3.05	1.04	29.00
20	150	1.00	0.88	45.13	3.81	1.30	30.30

ตารางที่ ฉ.12 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินอู่รถ (1)			ดินอู่รถ (2)		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	0.79	0.70	45.83	3.53	1.20	31.51
22	170	0.59	0.52	46.35	2.37	0.81	32.31
23	180	0.59	0.52	46.87	2.51	0.85	33.17
24	190	0.59	0.52	47.39	2.71	0.92	34.09
25	200	0.45	0.40	47.78	1.41	0.48	34.57
26	210	0.38	0.34	48.12	1.21	0.41	34.98
27	220	0.25	0.22	48.34	0.93	0.32	35.30
28	230	0.32	0.28	48.61	0.93	0.32	35.62
29	240	0.32	0.28	48.89	0.66	0.22	35.84
30	250	0.25	0.22	49.11	0.79	0.27	36.11
31	260	0.11	0.10	49.20	0.25	0.08	36.20
32	270	0.00	0.00	49.20	0.25	0.08	36.28
33	280	0.00	0.00	49.20	0.11	0.04	36.32
34	290	0.00	0.00	49.20	0.11	0.04	36.36
35	300	0.00	0.00	49.20	0.04	0.01	36.37

ตารางที่ ฉ.12 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
1	5	26.87	10.39	10.39	9.82	1.93	1.93
2	10	11.36	4.39	14.79	9.20	1.81	3.75
3	15	5.12	1.98	16.77	8.58	1.69	5.44
4	20	5.09	1.97	18.74	10.57	2.08	7.52
5	25	2.79	1.08	19.82	10.91	2.15	9.67
6	30	2.35	0.91	20.73	10.95	2.16	11.82
7	35	1.80	0.70	21.42	12.04	2.37	14.19
8	40	1.60	0.62	22.04	14.75	2.90	17.10
9	45	1.66	0.64	22.68	18.68	3.68	20.78
10	50	1.39	0.54	23.22	17.93	3.53	24.31
11	60	2.37	0.92	24.14	27.37	5.39	29.70
12	70	2.30	0.89	25.03	25.38	5.00	34.70
13	80	2.51	0.97	26.00	23.05	4.54	39.24
14	90	2.30	0.89	26.89	21.55	4.24	43.49
15	100	1.96	0.76	27.65	18.47	3.64	47.12
16	110	1.75	0.68	28.33	16.27	3.21	50.33
17	120	1.96	0.76	29.08	13.47	2.65	52.98
18	130	0.93	0.36	29.44	12.51	2.46	55.44
19	140	1.34	0.52	29.96	9.42	1.86	57.30
20	150	1.21	0.47	30.43	7.23	1.42	58.73

ตารางที่ ฉ.12 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณ (ml)	ตัวอย่าง					
		ดินกองขยะ			ดินที่เก็บของเก่า		
		ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation	ความเข้มข้น (mg/kg)	% removal	summation
21	160	1.14	0.44	30.87	7.16	1.41	60.14
22	170	0.79	0.31	31.18	6.14	1.21	61.35
23	180	0.66	0.25	31.43	7.58	1.49	62.84
24	190	0.86	0.33	31.76	2.64	0.52	63.36
25	200	0.93	0.36	32.12	2.30	0.45	63.81
26	210	0.79	0.31	32.43	2.23	0.44	64.25
27	220	0.79	0.31	32.74	2.16	0.43	64.68
28	230	0.59	0.23	32.97	1.96	0.39	65.06
29	240	0.52	0.20	33.17	1.89	0.37	65.44
30	250	0.38	0.15	33.32	1.89	0.37	65.81
31	260	0.32	0.12	33.44	1.68	0.33	66.14
32	270	0.18	0.07	33.51	1.82	0.36	66.50
33	280	0.18	0.07	33.58	1.62	0.32	66.82
34	290	0.11	0.04	33.62	1.55	0.30	67.12
35	300	0.00	0.00	33.62	1.48	0.29	67.41

ตาราง ฉ.13 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้ง ในขั้นที่ 1

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 1					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย	%	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/kg)	removal	
อู่รถ 1	ก่อนชะ	Cu	0.07	0.89	0.08	0.34	1.62	0.09
		Fe	91.01	92.05	99.78	94.28	1.80	0.00
		Mn	0.23	0.32	0.28	0.28	0.32	0.00
		Pb	0	0	0	0	0	0
	หลังชะ	Cu	0.85	1.70	0.97	1.17	0.22	9.15
		Fe	46.09	43.49	39.75	43.11	0.03	0.33
		Mn	2.10	2.52	2.24	2.29	0.11	0.92
		Pb	0.09	0.12	0.09	0.10	0.08	1.66
อู่รถ 2	ก่อนชะ	Cu	0.15	0.09	0.12	0.12	1.44	0.01
		Fe	1.05	0.75	0.82	0.88	0.13	0.00
		Mn	0.15	0.13	0.14	0.14	0.64	0.00
		Pb	0	0	0	0	0	0
	หลังชะ	Cu	0.39	0.38	0.38	0.38	0.19	0.21
		Fe	11.65	9.12	10.14	10.30	0.06	0.69
		Mn	0.85	0.93	0.90	0.90	0.17	0.69
		Pb	0.39	0.44	0.41	0.41	0.15	0.51
กองขยะ	ก่อนชะ	Cu	0.09	0.10	0.09	0.09	0.59	0.00
		Fe	58.31	61.62	61.98	60.64	1.04	0.00
		Mn	0.07	0.05	0.05	0.06	0.17	0.00
		Pb	0	0	0	0	0	0
	หลังชะ	Cu	0.69	0.60	0.64	0.64	0.16	0.77
		Fe	7.68	8.40	7.94	8.01	0.01	0.09
		Mn	1.29	1.47	1.38	1.38	0.17	0.05
		Pb	0.17	0.22	0.21	0.20	0.09	1.45

ตาราง ฉ.13 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 1					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย	%	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/kg)	removal	
ที่เก็บของเก่า	ก่อนชะ	Cu	0.08	0.15	0.12	0.12	0.13	0.00
		Fe	40.54	40.71	40.61	40.62	0.83	0.00
		Mn	0.02	0.02	0.02	0.02	0.09	0.00
		Pb	0	0	0	0	0	0
	หลังชะ	Cu	4.30	3.70	3.83	3.94	0.17	1.79
		Fe	26.60	27.39	26.93	26.97	0.02	0.06
		Mn	0.59	0.57	0.56	0.57	0.10	0.28
		Pb	0.64	0.58	0.61	0.61	0.15	0.72

ตาราง ฉ.14 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้ง ในขั้นที่ 2

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 2					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย	%	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/kg)	removal	
อู่รถ 1	ก่อนชะ	Cu	0.59	0.67	0.60	0.62	2.91	0.01
		Fe	7.25	7.24	7.25	7.24	0.14	0.00
		Mn	2.15	2.55	2.26	2.32	2.72	0.01
		Pb	0.18	0.17	0.17	0.18	3.68	0.01
	หลังชะ	Cu	0.09	0.51	0.74	0.72	0.13	3.85
		Fe	0.54	0.69	0.57	0.60	0.00	0.01
		Mn	0.34	0.35	0.34	0.34	0.02	0.02
		Pb	0.20	0.18	0.19	0.19	0.16	0.60
อู่รถ 2	ก่อนชะ	Cu	0.36	0.38	0.36	0.37	4.43	0.01
		Fe	1.98	2.12	2.02	2.04	0.31	0.00
		Mn	1.36	1.51	1.41	1.43	6.63	0.01
		Pb	0.23	0.24	0.23	0.23	2.12	0.00
	หลังชะ	Cu	0.34	0.34	0.34	0.34	0.16	0.11
		Fe	0.85	0.66	0.73	0.74	0.00	0.05
		Mn	0.25	0.26	0.26	0.26	0.05	0.12
		Pb	0.28	0.28	0.28	0.28	0.10	0.00
กองขยะ	ก่อนชะ	Cu	0.38	0.47	0.40	0.42	2.60	0.01
		Fe	50.20	50.22	50.21	50.21	0.86	0.00
		Mn	1.63	1.96	1.77	1.79	5.36	0.02
		Pb	0.20	0.20	0.20	0.20	2.10	0.00
	หลังชะ	Cu	0.37	0.28	0.33	0.33	0.08	0.81
		Fe	0.80	1.03	1.01	0.94	0.00	0.03
		Mn	0.57	561.00	0.57	187.38	22.49	163.62
		Pb	0.22	0.22	0.22	0.22	0.09	0.07

ตาราง ฉ.14 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 2					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย	%	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/kg)	removal	
ที่เก็บของเก่า	ก่อนชะ	Cu	6.17	6.47	6.22	6.29	6.80	0.01
		Fe	27.29	25.33	25.31	25.97	0.53	0.00
		Mn	0.06	0.63	0.59	0.43	1.88	0.06
		Pb	0.20	0.19	0.19	0.19	1.20	0.00
	หลังชะ	Cu	1.66	1.33	1.50	1.49	0.06	0.94
		Fe	1.12	1.19	1.18	1.16	0.00	0.01
		Mn	0.20	0.21	0.21	0.21	0.04	0.07
		Pb	0.24	0.21	0.22	0.22	0.06	0.41

ตาราง ฉ.15 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้ง ในขั้นที่ 3

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 3					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
อู่รถ 1	ก่อนชะ	Cu	0.46	0.40	0.41	0.42	1.97	0.01
		Fe	51.66	51.87	51.77	51.77	0.99	0.00
		Mn	5.83	6.31	6.02	6.06	7.11	0.01
		Pb	0.16	0.16	0.16	0.16	3.25	0.00
	หลังชะ	Cu	0.20	0.25	0.21	0.22	0.04	0.51
		Fe	24.49	24.47	24.58	24.55	0.02	0.01
		Mn	1.04	0.92	1.00	0.99	0.05	0.27
		Pb	0.15	0.15	0.15	0.15	0.13	0.19
อู่รถ 2	ก่อนชะ	Cu	0.21	0.21	0.21	0.21	2.52	0.00
		Fe	0.29	0.26	0.27	0.27	0.04	0.00
		Mn	1.80	1.97	1.81	1.86	8.63	0.02
		Pb	0.18	0.18	0.18	0.18	1.65	0.00
	หลังชะ	Cu	0.18	0.19	0.19	0.19	0.09	0.19
		Fe	1.35	0.46	1.06	0.96	0.01	0.25
		Mn	0.54	0.45	0.53	0.51	0.09	0.84
		Pb	0.15	0.17	0.16	0.16	0.06	0.17
กองขยะ	ก่อนชะ	Cu	0.22	0.23	0.22	0.22	1.39	0.00
		Fe	92.26	93.27	93.27	92.93	1.60	0.00
		Mn	4.42	4.82	4.52	4.59	13.76	0.03
		Pb	0.17	0.17	0.17	0.17	1.74	0.00
	หลังชะ	Cu	0.18	0.18	0.18	0.18	0.04	0.00
		Fe	0.52	0.68	0.61	0.60	0.00	0.02
		Mn	1.71	1.71	1.71	1.71	0.21	0.00
		Pb	0.15	0.15	0.15	0.15	0.06	0.11

ตาราง ฉ.15 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 3					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย	%	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/kg)	removal	
ที่เก็บของเก่า	ก่อนชะ	Cu	0.96	0.89	0.90	0.92	0.99	0.00
		Fe	35.56	36.32	30.41	34.10	0.70	0.00
		Mn	1.87	1.66	1.71	1.75	7.72	0.02
		Pb	0.17	0.17	0.17	0.17	1.06	0.00
	หลังชะ	Cu	0.55	0.52	0.53	0.53	0.02	0.08
		Fe	1.84	1.45	1.98	1.76	0.00	0.04
		Mn	0.63	0.69	0.65	0.66	0.12	0.69
		Pb	0.16	0.16	0.16	0.16	0.04	0.00

ตาราง ฉ.16 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้ง ในขั้นที่ 4

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 4					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
อู่รถ 1	ก่อนชะ	Cu	5.73	6.83	5.93	6.16	29.00	0.11
		Fe	1209.48	1198.25	1255.90	1221.21	23.37	0.02
		Mn	19.48	13.35	18.15	16.99	19.94	0.15
		Pb	2.38	2.07	2.02	2.36	49.56	0.29
	หลังชะ	Cu	1.05	0.93	1.48	1.15	0.22	5.71
		Fe	258.00	342.25	274.50	291.58	0.22	4.59
		Mn	2.73	4.63	3.83	3.73	0.17	4.17
		Pb	0	0	0	0	0	0
อู่รถ 2	ก่อนชะ	Cu	0.93	1.35	1.08	1.12	13.49	0.10
		Fe	77.68	86.20	77.75	80.54	12.08	0.03
		Mn	12.08	12.65	12.95	12.56	58.33	0.08
		Pb	5.75	6.90	6.03	6.23	56.60	0.22
	หลังชะ	Cu	0.20	0.20	0.20	0.20	0.10	0.00
		Fe	40.15	52.43	50.50	47.69	0.29	3.59
		Mn	2.78	3.25	3.03	3.02	0.56	4.11
		Pb	2.63	1.08	2.05	1.92	0.70	17.25
กองขยะ	ก่อนชะ	Cu	1.63	1.88	1.63	1.71	10.63	0.04
		Fe	1614.33	1695.90	1799.23	1703.15	29.25	0.06
		Mn	24.58	17.05	22.18	21.27	63.82	0.46
		Pb	5.75	5.05	5.38	5.39	56.88	0.15
	หลังชะ	Cu	0.15	0.10	0.10	0.12	0.03	0.54
		Fe	40.80	45.60	43.33	43.24	0.03	0.57
		Mn	2.98	5.65	5.18	4.60	0.55	0.72
		Pb	0	0	0	0	0	0

ตาราง ฉ.16 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 4					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ที่เก็บของเก่า	ก่อนชะ	Cu	28.90	56.60	31.08	38.86	42.02	0.67
		Fe	896.75	842.25	870.50	869.83	17.74	0.02
		Mn	6.93	4.85	6.50	6.09	26.87	0.19
		Pb	9.55	7.78	9.28	8.87	54.98	0.24
	หลังชะ	Cu	11.03	6.75	7.45	8.41	0.36	12.96
		Fe	211.85	315.50	249.15	258.83	0.21	8.23
		Mn	1.23	1.80	1.63	1.55	0.27	5.93
		Pb	2.18	2.08	2.13	2.13	0.53	1.16

ตาราง ฉ.17 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้ง ในขั้นที่ 5

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 5					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
อู่รถ 1	ก่อนชะ	Cu	6.56	6.75	6.15	6.48	48.86	0.06
		Fe	491.30	486.20	480.80	486.10	14.88	0.00
		Mn	3.19	3.24	3.20	3.21	6.02	0.00
		Pb	0.92	0.84	0.41	0.72	24.28	0.23
	หลังชะ	Cu	0.96	1.87	1.42	1.42	0.27	9.03
		Fe	98.33	48.67	91.75	79.58	0.06	2.77
		Mn	1.02	1.20	1.19	1.14	0.05	0.44
		Pb	0.45	0.55	0.51	0.50	0.42	4.44
อู่รถ 2	ก่อนชะ	Cu	3.46	3.95	3.52	3.65	70.46	0.13
		Fe	43.73	42.84	43.83	43.47	10.43	0.00
		Mn	1.01	0.95	1.00	0.99	7.33	0.01
		Pb	2.15	2.86	2.23	2.41	35.08	0.14
	หลังชะ	Cu	0.66	0.68	0.64	0.66	0.32	0.96
		Fe	11.70	11.84	11.64	11.73	0.07	0.06
		Mn	0.32	0.33	0.31	0.32	0.06	0.12
		Pb	1.26	1.26	2.25	1.59	0.58	12.54
กองขยะ	ก่อนชะ	Cu	7.78	7.78	7.78	7.78	77.41	0.00
		Fe	960.11	950.62	970.02	960.25	26.39	0.01
		Mn	1.55	1.55	1.55	1.55	7.43	0.00
		Pb	1.59	1.65	1.44	1.56	26.34	0.05
	หลังชะ	Cu	4.52	0.99	3.99	3.16	0.79	35.55
		Fe	24.40	21.11	22.58	22.70	0.02	0.39
		Mn	0.44	0.53	0.48	0.48	0.06	0.02
		Pb	1.10	0.44	0.58	0.71	0.30	19.82

ตาราง ฉ.17 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 5					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ที่เก็บของเก่า	ก่อนชะ	Cu	20.42	27.15	21.93	23.17	40.08	0.15
		Fe	68.75	46.21	32.15	49.04	1.60	0.02
		Mn	0.76	0.39	0.50	0.55	3.87	0.03
		Pb	3.09	1.75	2.00	2.28	22.61	0.18
	หลังชะ	Cu	1.68	3.69	1.94	2.44	0.11	6.19
		Fe	20.72	47.33	39.27	35.77	0.03	2.14
		Mn	0.46	0.43	0.44	0.44	0.08	0.29
		Pb	0.41	1.17	0.73	0.77	0.19	8.87

ตาราง ฉ.18 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครั้ง ในขั้นที่ 6

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 6					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย	%	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/kg)	removal	
อู่รถ 1	ก่อนชะ	Cu	0.87	0.74	0.89	0.83	15.63	0.02
		Fe	769.20	771.10	764.60	786.30	58.81	0.00
		Mn	11.56	15.79	13.49	13.61	63.89	0.10
		Pb	0.18	0.30	0.21	0.23	19.23	0.06
	หลังชะ	Cu	0.25	0.49	0.38	0.37	59.23	2.30
		Fe	508.00	560.90	532.50	533.80	89.06	2.72
		Mn	12.10	18.65	12.46	14.40	59.66	16.09
		Pb	0.12	0.16	0.14	0.14	67.81	2.04
อู่รถ 2	ก่อนชะ	Cu	0.17	0.15	0.16	0.16	7.65	0.00
		Fe	130.90	124.60	129.80	128.43	77.02	0.02
		Mn	1.00	0.97	1.00	0.99	18.43	0.00
		Pb	0.13	0.12	0.13	0.13	4.56	0.00
	หลังชะ	Cu	0.09	0.14	0.10	0.11	34.51	1.28
		Fe	98.58	138.30	100.58	112.49	94.02	12.17
		Mn	0.60	0.98	0.77	0.78	62.79	3.32
		Pb	0.06	0.38	0.11	0.18	59.43	0
กองขยะ	ก่อนชะ	Cu	0.44	0.07	0.38	0.30	7.38	0.05
		Fe	622.90	607.60	554.20	594.90	40.87	0.02
		Mn	1.16	0.17	1.04	0.79	9.46	0.06
		Pb	0.43	0.21	0.28	0.31	12.94	0.05
	หลังชะ	Cu	1.83	0.55	0.41	0.93	50.84	14.56
		Fe	520.00	243.80	267.00	343.60	83.02	36.56
		Mn	3.47	1.08	2.08	2.21	5.68	0.61
		Pb	0.68	0.33	0.46	0.49	50.15	9.96

ตาราง ฉ.18 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 6					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ที่เก็บของเก่า	ก่อนชะ	Cu	2.13	2.55	2.25	2.31	9.99	0.01
		Fe	909.90	986.70	990.80	962.47	78.60	0.04
		Mn	3.88	2.81	3.45	3.38	59.59	0.09
		Pb	0.78	0.87	0.79	0.81	20.15	0.01
	หลังชะ	Cu	0.87	0.89	0.88	0.88	55.12	0.06
		Fe	251.60	381.20	307.70	313.50	94.50	10.19
		Mn	1.21	1.89	1.53	1.55	75.69	6.83
		Pb	0.29	0.52	0.44	0.42	63.94	2.76

ตาราง ฉ.19 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิดแบบคอลัมน์ ในขั้นที่ 1

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 1					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
อู่รถ 1	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.07	0.89	0.08	0.34	1.62	0.09
		Fe	91.01	92.05	99.78	94.28	1.80	0.00
		Mn	0.23	0.32	0.28	0.28	0.32	0.00
		Pb	0	0	0	0	0	0
	หลังลงคอลัมน์	Cu	12.09	12.09	10.54	11.58	2.85	0.55
		Fe	605.98	610.10	585.37	600.48	1.73	0.19
		Mn	5.16	0.92	7.45	4.51	0.22	0.74
		Pb	7.88	7.88	6.16	7.31	6.42	1.36
อู่รถ 2	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.15	0.09	0.12	0.12	1.44	0.01
		Fe	1.05	0.75	0.82	0.88	0.13	0.00
		Mn	0.15	0.13	0.14	0.14	0.64	0.00
		Pb	0	0	0	0	0	0
	หลังลงคอลัมน์	Cu	3.95	3.57	4.31	3.95	3.43	2.04
		Fe	363.53	408.86	412.29	394.90	2.43	0.96
		Mn	2.88	3.53	3.86	3.42	0.82	1.20
		Pb	0	0	0	0	0	0
กองขยะ	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.09	0.10	0.09	0.09	0.59	0.00
		Fe	58.31	61.62	61.98	60.64	1.04	0.00
		Mn	0.07	0.05	0.05	0.06	0.17	0.00
		Pb	0	0	0	0	0	0
	หลังลงคอลัมน์	Cu	18.68	8.22	14.03	13.64	6.65	5.83
		Fe	290.73	333.31	361.47	328.50	1.43	1.07
		Mn	19.54	15.95	24.44	19.98	2.76	3.44
		Pb	6.16	7.88	7.88	7.31	2.83	1.10

ตาราง ฉ.19 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 1					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ที่เก็บของเก่า	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.08	0.15	0.12	0.12	0.13	0.00
		Fe	40.54	40.71	40.61	40.62	0.83	0.00
		Mn	0.02	0.02	0.02	0.02	0.09	0.00
		Pb	0	0	0	0	0	0
	หลังลงคอลัมน์	Cu	60.54	40.39	55.12	52.02	2.54	2.88
		Fe	555.84	515.32	574.38	548.51	1.63	0.46
		Mn	6.14	4.48	6.47	5.82	0.84	0.52
		Pb	2.74	7.88	6.16	5.59	1.10	2.07

ตาราง ฉ.20 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิดแบบคอลัมน์ ในขั้นที่ 2

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 2					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
อู่รถ 1	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.59	0.67	0.60	0.62	2.91	0.01
		Fe	7.25	7.24	7.25	7.24	0.14	0.00
		Mn	2.15	2.55	2.26	2.32	2.72	0.01
		Pb	0.18	0.17	0.17	0.18	3.68	0.01
	หลังลงคอลัมน์	Cu	7.05	7.83	10.54	8.48	2.09	1.13
		Fe	16.00	11.88	13.94	13.94	0.04	0.03
		Mn	19.22	29.35	20.85	23.14	1.12	1.21
		Pb	9.59	7.88	7.88	8.45	7.43	1.35
อู่รถ 2	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.36	0.38	0.36	0.37	4.43	0.01
		Fe	1.98	2.12	2.02	2.04	0.31	0.00
		Mn	1.36	1.51	1.41	1.43	6.63	0.01
		Pb	0.23	0.24	0.23	0.23	2.12	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	0	0	0	0	0	0
		Fe	0	0	0	0	0	0
		Mn	0	0	0	0	0	0
		Pb	0	0	0	0	0	0
กองขยะ	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.38	0.47	0.40	0.42	2.60	0.01
		Fe	50.20	50.22	50.21	50.21	0.86	0.00
		Mn	1.63	1.96	1.77	1.79	5.36	0.02
		Pb	0.20	0.20	0.20	0.20	2.10	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	4.73	5.12	8.22	6.02	2.94	2.13
		Fe	0	0	0	0	0	0
		Mn	10.72	8.43	6.80	8.65	1.19	1.59
		Pb	4.45	2.74	6.16	4.45	1.72	1.89

ตาราง ฉ.20 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 2					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ที่เก็บของเก่า	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	6.17	6.47	6.22	6.29	6.80	0.01
		Fe	27.29	25.33	25.31	25.97	0.53	0.00
		Mn	0.06	0.63	0.59	0.43	1.88	0.06
		Pb	0.20	0.19	0.19	0.19	1.20	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	23.33	17.52	7.83	16.23	0.79	1.71
		Fe	33.17	34.55	31.80	33.17	0.10	0.02
		Mn	0.92	1.24	0.59	0.92	0.13	0.16
		Pb	0	0	0	0	0	0

ตาราง ฉ.21 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ ในขั้นที่ 3

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 3					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย	%	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/kg)	removal	
อู่รถ 1	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.46	0.40	0.41	0.42	1.97	0.01
		Fe	51.66	51.87	51.77	51.77	0.99	0.00
		Mn	5.83	6.31	6.02	6.06	7.11	0.01
		Pb	0.16	0.16	0.16	0.16	3.25	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	7.44	5.89	6.67	6.67	1.64	0.48
		Fe	638.94	70.54	616.28	441.92	1.27	4.65
		Mn	60.39	171.50	68.24	100.04	4.85	13.84
		Pb	9.59	11.30	7.88	9.59	8.43	2.34
อู่รถ 2	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.21	0.21	0.21	0.21	2.52	0.00
		Fe	0.29	0.26	0.27	0.27	0.04	0.00
		Mn	1.80	1.97	1.81	1.86	8.63	0.02
		Pb	0.18	0.18	0.18	0.18	1.65	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	0	0	0	0	0	0
		Fe	36.61	32.49	35.23	34.78	0.21	0.07
		Mn	2.88	3.86	5.16	3.97	0.95	2.75
		Pb	0	0	0	0	0	0
กองขยะ	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.22	0.23	0.22	0.22	1.39	0.00
		Fe	92.26	93.27	93.27	92.93	1.60	0.00
		Mn	4.42	4.82	4.52	4.59	13.76	0.03
		Pb	0.17	0.17	0.17	0.17	1.74	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	3.95	3.57	3.57	3.70	1.80	0.24
		Fe	0	0	0	0	0	0
		Mn	124.12	100.92	69.22	98.08	13.54	22.23
		Pb	6.16	7.88	4.45	6.16	2.38	1.90

ตาราง ฉ.21 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 3					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย	%	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/kg)	removal	
ที่เก็บของเก่า	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.96	0.89	0.90	0.92	0.99	0.00
		Fe	35.56	36.32	30.41	34.10	0.70	0.00
		Mn	1.87	1.66	1.71	1.75	7.72	0.02
		Pb	0.17	0.17	0.17	0.17	1.06	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	33.41	27.98	18.30	26.56	1.30	1.67
		Fe	108.04	77.82	136.88	107.58	1.30	0.45
		Mn	12.03	16.93	6.14	11.70	1.68	2.61
		Pb	0	0	0	0	0	0

ตาราง ฉ.22 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิดแบบคอลัมน์ ในขั้นที่ 4

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 4					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
อู่รถ 1	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	5.73	6.83	5.93	6.16	29.00	0.11
		Fe	1209.48	1198.25	1255.90	1221.21	23.37	0.02
		Mn	19.48	13.35	18.15	16.99	19.94	0.15
		Pb	2.38	2.07	2.02	2.36	49.56	0.29
	หลังลงคอลัมน์	Cu	21.78	24.50	27.21	24.50	6.03	1.67
		Fe	747.46	774.93	782.49	768.29	2.21	0.27
		Mn	79.67	82.29	56.47	72.81	3.53	3.17
		Pb	13.01	13.01	13.30	12.44	10.94	0.23
อู่รถ 2	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.93	1.35	1.08	1.12	13.49	0.10
		Fe	77.68	86.20	77.75	80.54	12.08	0.03
		Mn	12.08	12.65	12.95	12.56	58.33	0.08
		Pb	5.75	6.90	6.03	6.23	56.60	0.22
	หลังลงคอลัมน์	Cu	0	0	0	0	0	0
		Fe	201.44	179.47	206.94	195.95	1.20	0.51
		Mn	7.45	13.01	7.12	9.19	2.20	7.95
		Pb	16.44	25.00	40.41	27.28	9.30	21.22
กองขยะ	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	1.63	1.88	1.63	1.71	10.63	0.04
		Fe	1614.33	1695.90	1799.23	1703.15	29.25	0.06
		Mn	24.58	17.05	22.18	21.27	63.82	0.46
		Pb	5.75	5.05	5.38	5.39	56.88	0.15
	หลังลงคอลัมน์	Cu	5.89	5.12	6.68	5.89	2.87	0.87
		Fe	429.47	476.85	506.39	470.90	2.05	1.67
		Mn	23.79	54.84	57.78	45.46	6.28	15.19
		Pb	11.30	7.88	11.30	10.16	3.93	2.18

ตาราง ฉ.22 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 4					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย	%	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/kg)	removal	
ที่เก็บของเก่า	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	28.90	56.60	31.08	38.86	42.02	0.67
		Fe	896.75	842.25	870.50	869.83	17.74	0.02
		Mn	6.93	4.85	6.50	6.09	26.87	0.19
		Pb	9.55	7.78	9.28	8.87	54.98	0.24
	หลังลงคอลัมน์	Cu	24.50	16.74	36.12	25.79	1.26	2.13
		Fe	680.84	535.23	552.40	589.49	1.75	1.21
		Mn	14.31	7.45	10.39	10.72	1.54	1.66
		Pb	23.29	19.86	14.73	19.29	3.80	3.40

ตาราง ฉ.23 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิดแบบคอลัมน์ ในขั้นที่ 5

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 5					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
อู่รถ 1	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	6.56	6.75	6.15	6.48	48.86	0.06
		Fe	491.30	486.20	480.80	486.10	14.88	0.00
		Mn	3.19	3.24	3.20	3.21	6.02	0.00
		Pb	0.92	0.84	0.41	0.72	24.28	0.23
	หลังลงคอลัมน์	Cu	60.28	72.06	91.91	74.75	18.39	9.84
		Fe	538.79	658.57	688.24	628.54	1.81	1.14
		Mn	57.41	61.07	56.89	58.46	2.83	0.51
		Pb	23.56	29.04	23.56	23.39	22.32	4.33
อู่รถ 2	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	3.46	3.95	3.52	3.65	70.46	0.13
		Fe	43.73	42.84	43.83	43.47	10.43	0.00
		Mn	1.01	0.95	1.00	0.99	7.33	0.01
		Pb	2.15	2.86	2.23	2.41	35.08	0.14
	หลังลงคอลัมน์	Cu	15.63	14.39	12.53	14.18	12.31	8.61
		Fe	15.71	15.71	17.91	16.45	0.10	0.04
		Mn	1.46	4.60	1.46	2.51	0.60	4.35
		Pb	23.56	31.78	34.52	29.95	10.21	9.97
กองขยะ	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	7.78	7.78	7.78	7.78	77.41	0.00
		Fe	960.11	950.62	970.02	960.25	26.39	0.01
		Mn	1.55	1.55	1.55	1.55	7.43	0.00
		Pb	1.59	1.65	1.44	1.56	26.34	0.05
	หลังลงคอลัมน์	Cu	44.16	20.59	29.27	31.34	15.28	13.26
		Fe	348.68	169.56	304.73	274.32	1.20	2.80
		Mn	7.74	10.88	5.12	7.91	1.09	2.33
		Pb	20.82	18.08	20.82	19.91	7.70	1.75

ตาราง ฉ.23 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 5					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	% removal	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ที่เก็บของเก่า	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	20.42	27.15	21.93	23.17	40.08	0.15
		Fe	68.75	46.21	32.15	49.04	1.60	0.02
		Mn	0.76	0.39	0.50	0.55	3.87	0.03
		Pb	3.09	1.75	2.00	2.28	22.61	0.18
	หลังลงคอลัมน์	Cu	503.07	87.57	276.09	288.91	14.08	45.46
		Fe	575.06	659.67	511.32	582.02	1.73	1.14
		Mn	19.24	17.15	17.67	18.02	2.59	0.53
		Pb	34.52	40.00	42.74	39.09	7.70	3.30

ตาราง ฉ.24 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบคอลัมน์ในขั้นที่ 6

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 6					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย	%	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/kg)	removal	
อู่รถ 1	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.87	0.74	0.89	0.83	15.63	0.02
		Fe	769.20	771.10	764.60	786.30	58.81	0.00
		Mn	11.56	15.79	13.49	13.61	63.89	0.10
		Pb	0.18	0.30	0.21	0.23	19.23	0.06
	หลังลงคอลัมน์	Cu	40.39	38.06	31.09	36.51	8.98	2.98
		Fe	4475.62	4647.87	4565.45	4662.98	13.40	1.25
		Mn	225.10	185.88	156.47	189.15	9.17	7.68
		Pb	11.30	11.30	13.01	11.87	10.44	1.35
อู่รถ 2	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.17	0.15	0.16	0.16	7.65	0.00
		Fe	130.90	124.60	129.80	128.43	77.02	0.02
		Mn	1.00	0.97	1.00	0.99	18.43	0.00
		Pb	0.13	0.12	0.13	0.13	4.56	0.00
	หลังลงคอลัมน์	Cu	0	0	0	0	0	0
		Fe	2270.12	2171.22	2162.98	2201.44	13.52	2.10
		Mn	23.14	21.18	21.18	21.83	5.22	2.72
		Pb	0	0	0	0	0	0
กองขยะ	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	0.44	0.07	0.38	0.30	7.38	0.05
		Fe	622.90	607.60	554.20	594.90	40.87	0.02
		Mn	1.16	0.17	1.04	0.79	9.46	0.06
		Pb	0.43	0.21	0.28	0.31	12.94	0.05
	หลังลงคอลัมน์	Cu	25.27	24.11	39.23	29.34	14.40	9.36
		Fe	2162.98	2284.55	2317.51	2255.01	9.83	2.45
		Mn	30.98	35.88	40.78	35.88	4.96	3.95
		Pb	50.69	45.55	50.69	48.97	18.94	3.28

ตาราง ฉ.24 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	โลหะ	ขั้นที่ 6					SD
			ความเข้มข้น (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย	%	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(mg/kg)	removal	
ที่เก็บของเก่า	ก่อนลงคอลัมน์	Cu	2.13	2.55	2.25	2.31	9.99	0.01
		Fe	909.90	986.70	990.80	962.47	78.60	0.04
		Mn	3.88	2.81	3.45	3.38	59.59	0.09
		Pb	0.78	0.87	0.79	0.81	20.15	0.01
	หลังลงคอลัมน์	Cu	38.06	45.04	61.32	48.14	2.35	2.61
		Fe	4750.89	4544.85	4775.62	4690.45	13.94	1.93
		Mn	189.80	160.39	129.02	159.74	22.93	14.69
		Pb	55.82	55.82	76.37	62.67	12.34	9.37

ตาราง ฉ.25 การนำสารผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กลับมาใช้ใหม่ของดินอู่รถ (I)

จำนวนครั้งที่ชะ	โลหะ	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	% removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ครั้งที่ 1	Cu	128.93	126.14	129.86	128.31	31.57	0.48
	Fe	944.75	928.27	909.31	927.45	2.66	0.05
	Mn	475.61	471.29	481.88	476.26	23.09	0.26
	Pb	36.16	42.33	40.27	39.59	34.81	2.76
ครั้งที่ 2	Cu	123.35	120.09	118.23	120.56	29.66	0.64
	Fe	1006.57	990.08	1005.74	1000.80	2.88	0.03
	Mn	466.59	464.63	463.06	464.76	22.53	0.09
	Pb	23.84	23.84	21.78	23.15	20.35	1.05
ครั้งที่ 3	Cu	102.42	91.72	82.42	92.19	22.68	2.46
	Fe	924.15	934.86	988.43	949.15	2.73	0.10
	Mn	375.61	339.53	319.14	344.76	16.72	1.39
	Pb	19.73	15.62	17.67	17.67	15.54	1.81
ครั้งที่ 4	Cu	0	0	0	0	0	0
	Fe	961.24	915.91	915.91	931.02	2.68	0.08
	Mn	347.76	327.76	285.02	320.18	15.52	1.55
	Pb	19.73	17.67	13.56	16.99	14.93	2.76

ตาราง ฉ.26 การนำสารผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กลับมาใช้ใหม่ของดินอู่รถ (2)

จำนวนครั้งที่ชะ	โลหะ	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	% removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ครั้งที่ 1	Cu	99.63	94.05	79.16	90.95	78.93	9.18
	Fe	916.73	923.32	925.80	921.95	5.66	0.03
	Mn	330.90	323.84	327.76	327.50	78.25	0.85
	Pb	130.68	140.96	112.19	127.95	43.61	4.97
ครั้งที่ 2	Cu	18.70	21.49	15.91	18.70	16.23	2.42
	Fe	687.61	679.37	692.55	686.51	4.22	0.04
	Mn	62.67	57.18	56.00	58.61	14.00	0.85
	Pb	106.03	110.14	97.81	104.66	35.67	2.14
ครั้งที่ 3	Cu	0	0	0	0	0	0
	Fe	649.70	685.14	652.99	662.61	4.07	0.12
	Mn	0	0	0	0	0	0
	Pb	58.77	50.55	52.60	53.97	18.40	1.46
ครั้งที่ 4	Cu	0	0	0	0	0	0
	Fe	602.72	629.92	549.97	549.20	3.65	0.25
	Mn	0	0	0	0	0	0
	Pb	0	0	0	0	0	0

ตาราง ฉ.27 การนำสารผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กลับมาใช้ใหม่ของดินกองขยะ

จำนวนครั้งที่ชะ	โลหะ	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	% removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ครั้งที่ 1	Cu	183.35	195.44	200.56	193.12	94.14	4.31
	Fe	921.68	1000.80	1016.46	979.64	4.27	0.22
	Mn	479.92	490.51	381.45	450.63	62.22	8.30
	Pb	122.47	122.47	143.01	129.32	50.02	4.59
ครั้งที่ 2	Cu	8.93	8.00	6.60	7.84	3.82	0.57
	Fe	920.03	912.61	929.09	920.58	4.01	0.04
	Mn	197.96	193.25	191.77	194.33	26.83	0.45
	Pb	99.86	77.26	81.37	86.16	33.33	4.66
ครั้งที่ 3	Cu	0	0	0	0	0	0
	Fe	895.30	915.91	877.17	896.13	3.91	0.08
	Mn	0	0	0	0	0	0
	Pb	0	0	0	0	0	0
ครั้งที่ 4	Cu	0	0	0	0	0	0
	Fe	842.55	869.75	906.02	872.77	3.80	0.14
	Mn	0	0	0	0	0	0
	Pb	0	0	0	0	0	0

ตาราง ฉ.28 การนำสารผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กลับมาใช้ใหม่ของดินที่เก็บของเก่า

จำนวนครั้งที่ชะ	โลหะ	ความเข้มข้น (mg/kg)			เฉลี่ย	% removal	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ครั้งที่ 1	Cu	728.47	671.26	716.37	705.36	34.39	1.47
	Fe	1089.81	1084.04	1092.28	1088.71	3.24	0.01
	Mn	203.45	180.71	168.16	184.10	26.43	2.57
	Pb	200.55	216.99	237.53	218.36	43.01	3.65
ครั้งที่ 2	Cu	719.16	659.63	685.67	688.16	33.55	1.45
	Fe	1006.57	1004.09	997.50	1002.72	2.98	0.01
	Mn	180.31	174.82	166.59	173.91	24.96	0.99
	Pb	175.89	190.27	153.29	173.15	34.10	3.67
ครั้งที่ 3	Cu	473.12	453.58	309.86	412.19	20.09	4.35
	Fe	961.24	945.58	961.24	956.02	2.48	0.03
	Mn	146.98	140.31	123.06	136.78	18.93	1.77
	Pb	112.19	126.58	87.53	108.77	21.42	3.89
ครั้งที่ 4	Cu	0	0	0	0	0	0
	Fe	878.82	863.16	875.52	872.50	2.59	0.22
	Mn	89.33	92.86	83.84	88.68	12.73	0.65
	Pb	0	0	0	0	0	0

ประวัติ

ชื่อ – สกุล นางสาวนริศรา เนียมฤทธิ์

วัน เดือน ปี เกิด 5 พฤษภาคม 2523

อายุ 26 ปี **โทรศัพท์** 0-1919-1719

ที่อยู่ปัจจุบัน 565/2 หมู่ 10 ต.ลำนารายณ์ อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี 15130

บิดา นายสมยศ เนียมฤทธิ์

อาชีพ ลูกจ้างชั่วคราว

สถานที่ทำงาน โรงเรียนอนุบาลลำนารายณ์ อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

โทรศัพท์ 0-3646-1040 , 0-9904-5948

มารดา นางศุภลักษณ์ มีคุณ

อาชีพ รับราชการ (ครู) ตำแหน่ง ครู คศ.3

สถานที่ทำงาน โรงเรียนวัดศิริบรรพต อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

โทรศัพท์ 0-3646-1807 , 0-9881-6927

ประวัติการศึกษา

2546-2548 ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2541-2544 ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาเคมี
มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

2535-2540 มัธยมศึกษา โรงเรียนสาธิตสถาบันราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี

ประวัติการฝึกงาน

มี.ค. - พ.ค. 2544 ฝึกงานที่คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ

กิจกรรม

ปริญญาตรี เป็นเหรัญญิกของสาขา , เข้าร่วมการเข้าค่ายเคมี, เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาของทางมหาวิทยาลัยทุกปี, ร่วมแสดงในพิธีเปิดกีฬาเอเชียนเกมส์