

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายโซเดียมอีดีทีเอและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ในการล้างทองแดง เหล็ก แมงกานีสและตะกั่วออกจากดินที่ปนเปื้อน นอกจากนี้ยังมุ่งที่จะศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำสารละลายทั้ง 2 ชนิดกลับมาใช้ใหม่ ดินที่ใช้ทดลองเป็นดินปนเปื้อนที่สุ่มมาจากสถานที่ต่างๆ คือ จังหวัดลพบุรี (ตำบลลำนารายณ์, ตำบลชัยบาดาลและตำบลท่าหลวง) และจังหวัดกรุงเทพมหานคร (เขตลาดกระบัง) ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน พบว่าดินทั้ง 4 ตัวอย่างเป็นดินทราย มีเหล็กปนเปื้อนในปริมาณที่สูงที่สุด คืออยู่ในช่วงประมาณ 16,000-35,000 พีพีเอ็ม ส่วนแมงกานีสทองแดงและตะกั่วส่วนมากพบว่ามีปริมาณอยู่ในหลักร้อย การทดลองสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกทำการทดลองแบบครั้ง โดยแปรผันค่าความเข้มข้นของสารละลายทั้ง 2 ชนิดและแปรผันอัตราส่วนระหว่างปริมาณดินกับปริมาตรของสารละลาย จากการทดลองพบว่าสารละลายที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะสูงที่สุดคือ สารละลาย 0.15 โมลาร์ โซเดียมอีดีทีเอ และสารผสมระหว่าง 0.10 โมลาร์ โซเดียมอีดีทีเอกับ 0.25 โมลาร์ โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ ส่วนอัตราส่วนที่เหมาะสมในการล้างดิน คือ ดิน 1 กรัม ต่อ สารละลาย 30 มิลลิลิตร ขั้นตอนที่สองทำการล้างดินแบบคอลัมน์โดยให้สารละลายทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวข้างต้นปริมาตร 300 มิลลิลิตร ไหลผ่านดิน 10 กรัมที่บรรจุในคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 1.2 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างน้ำชะที่ออกมาจากคอลัมน์ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะอย่างต่อเนื่อง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโลหะทุกชนิดถูกชะออกมามากขึ้นเมื่อปริมาตรสารละลายที่ใช้ชะมากขึ้น โดยมากเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะหนักโดยใช้โซเดียมอีดีทีเอจะอยู่ที่ 20.53-35.74 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงที่สุดที่พบคือ 49.19-61.90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการกำจัดทองแดงและแมงกานีสออกจากดินตำบลท่าหลวง ตำบลลำนารายณ์ และดินจากกรุงเทพมหานคร โดยมากเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะหนักโดยใช้สารละลาย

ผสมจะอยู่ที่ 21.80-49.21 เปอร์เซ็นต์ ทองแดงถูกกำจัดด้วยสารละลายทั้ง 2 ชนิดได้น้อยที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.66-4.52 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองล้างโลหะแบบคอลัมน์พบว่าสารละลายผสมมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะสูงกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ขั้นตอนที่สามทำการศึกษาลักษณะของโลหะหนักที่อยู่ในรูปต่างๆในดินโดยวิธีสกัดดินแบบลำดับขั้น พบว่าก่อนล้างดินด้วยสารละลายทั้งสอง โลหะส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปรีดิวซ์ รูปลูกซีไดส์และรูปที่เหลื่อ หลังจากการล้างดินแบบครั้ง พบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าโลหะหนักที่อยู่ในรูปอื่นๆ และสารละลายผสมมีประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักที่อยู่ในรูปรีดิวซ์ รูปลูกซีไดส์และรูปที่เหลื่อได้มากกว่ารูปอื่นๆ และหลังการล้างดินแบบคอลัมน์ พบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักที่อยู่ในรูปรีดิวซ์ รูปลูกซีไดส์ รูปที่สามารถละลายในกรดได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี และสารละลายผสมมีประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักที่อยู่ในรูปรีดิวซ์ และรูปลูกซีไดส์มากกว่ารูปอื่นๆ ขั้นตอนสุดท้ายทำการทดลองนำสารละลายทั้งสองชนิดกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้วิธีการตกตะกอนโลหะด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรค่อนน้ำหนัก) ผลการศึกษาคือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด 4 ครั้ง โดยในครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะลดลงมาก และในครั้งที่ 4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดได้เพียงโลหะหลักเท่านั้น และสารละลายผสมสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 4 ครั้งเช่นเดียวกัน แต่ประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะลดลงเล็กน้อยเมื่อนำกลับมาชะล้างโลหะครั้งต่อไป และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างโลหะหนักของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารละลายผสม พบว่าสารละลายผสมมีประสิทธิภาพในการล้างโลหะหนักดีกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

คำสำคัญ : การนำกลับมาใช้ใหม่ การล้างดิน เมตาไบซัลไฟด์ โลหะหนัก สารเคเลต ไฮดรอกไซด์

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 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) 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 (Ladkrabang). 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 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$. 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% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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. สุวรรณิ จรรยาพูน ผศ. พรรษวรรณ ตันทวี และ ผศ. ดร. เสาวภาค สุขตระกูลเวช ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำเป็นอย่างดีตลอดเวลา จนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อนๆ น้องๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

นอกเหนือจากบุคคลที่กล่าวมาแล้ว ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ

นริศรา เนียมฤทธิ์

สารบัญ

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 อินทรีย์วัตถุหรือฮิวมัส.....	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)

2.3.3 อินทรีย์วัตถุในดิน.....	9
2.4 การใช้ผลวิเคราะห์ดินทางกายภาพ.....	11
2.4.1 เนื้อดิน.....	11
2.4.2 ความหนาแน่นรวมของดิน.....	11
2.4.3 ความชื้นดิน.....	11
2.5 การใช้ผลวิเคราะห์ดินทางเคมี.....	VII
2.5.1 ความจุการแลกเปลี่ยนไอออนบวก.....	11

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของสารประกอบไฮดรอกไซด์ทั้งสามชนิดที่ใช้ตกตะกอนโลหะหนัก	32
3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน.....	38
3.2 สัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอิดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์.....	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 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินอุรุธ (1).....	108
ง.9 ปริมาณทั้งหมดของโลหะหนักแต่ละชนิดของดินอุรุธ (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 M ของดินอุรุธ (1).....	110
จ.2 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่ความเข้มข้น เท่ากับ 0.01 0.05 0.10 0.15 และ 0.25M ของดินอุรุธ (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 ของดินอุรุธ (1).....	114
จ.6 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ ที่อัตราส่วน เท่ากับ 1:05 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอุรุธ (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 ปริมาณทองแดงที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอระบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	118
จ.10 ปริมาณเหล็กที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอระบบคอลัมน์ของดิน	

ทั้ง 4 ชนิด.....	122
จ.11 ปริมาณแมงกานีสที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอชะแบบคอลัมน์ ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	126
จ.12 ปริมาณตะกั่วที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอชะแบบคอลัมน์ของ ดินทั้ง 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 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ของดินอุรุด (1).....	152
จ.26 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ของดินอุรุด (2).....	153
จ.27 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ของดินกองขยะ.....	154
จ.28 การนำสารละลายโซเดียมอีดีทีเอกลับมาใช้ใหม่ของดินที่เก็บของเก่า.....	155
ฉ.1 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสมของดินอุรุด (1).....	156
ฉ.2 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสมของดินอุรุด (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 ของดินอุรุด (1).....	164
ฉ.6 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกสกัดโดยสารผสม ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:05	

1:10 1:15 1:20 และ 1:30 ของดินอุ้งรูด (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 ปริมาณทองแดงที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ระบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	168
ฉ.10 ปริมาณเหล็กที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ระบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	172
ฉ.11 ปริมาณแมงกานีสที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ระบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	176
ฉ.12 ปริมาณตะกั่วที่ถูกสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ระบบคอลัมน์ของดินทั้ง 4 ชนิด.....	180
ฉ.13 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครึ่งในขั้นที่ 1.....	184
ฉ.14 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครึ่งในขั้นที่ 2.....	186

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ฉ.15 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครึ่งในขั้นที่ 3.....	188
ฉ.16 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครึ่งในขั้นที่ 4.....	190
ฉ.17 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครึ่งในขั้นที่ 5.....	192
ฉ.18 ค่าการสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนัก 4 ชนิด แบบครึ่งในขั้นที่ 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 การนำสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์กลับมาใช้ใหม่ของดินอุ้งรูด (1)	208
ฉ.12 การนำสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์	

กลับมาใช้ใหม่ของดินอุ้ร (2).....	209
จ.13 การนำสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์	
กลับมาใช้ใหม่ของดินกองขยะ.....	210
จ.14 การนำสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์	
กลับมาใช้ใหม่ของดินที่เก็บของเก่า.....	211

สารบัญรูป

รูปที่

2.1 โครงสร้างของอีดีทีเอ.....	หน้า
2.2 โครงสร้างของ EDTA (Double zwitterions).....	24
2.3 การตกตะกอนของโลหะหนักด้วยไฮดรอกไซด์แสดงในรูปค่าความเข้มข้น.....	24
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการล้างโลหะหนักออกจากดินแบบคอลัมน์.....	33
3.2 ขั้นตอนการสกัดโลหะในรูปต่าง ๆ ออกจากดินแบบเป็นลำดับขั้น.....	41
4.1 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินตัวอย่างเมื่อแปรผันความเข้มข้นของโซเดียมอีดีทีเอในการชะ.....	42
4.2 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินตัวอย่างเมื่อแปรผันอัตราส่วนระหว่างดินกับสารละลาย.....	47
4.3 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินอุ้ร (1).....	50
4.4 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินอุ้ร (2).....	51
4.5 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินกองขยะ.....	53
4.6 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินที่เก็บของเก่า.....	54
4.7 ประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักออกจากดินตัวอย่างที่อัตราส่วนต่างๆ.....	55

4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงในดินตัวอย่าง.....	57
4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กในดินตัวอย่าง.....	59
4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดแมงกานีสในดินตัวอย่าง.....	60
4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในดินตัวอย่าง.....	62
4.12 สัดส่วนทองแดงในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน.....	63
4.13 สัดส่วนเหล็กในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน.....	65
4.14 สัดส่วนแมงกานีสในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน.....	66
4.15 สัดส่วนตะกั่วในดินตัวอย่างก่อนและหลังการชะล้างดิน.....	67
4.16 สัดส่วนทองแดงในดินตัวอย่างก่อนลงคอลัมน์และหลังลงคอลัมน์.....	68
4.17 สัดส่วนเหล็กในดินตัวอย่างก่อนลงคอลัมน์และหลังลงคอลัมน์.....	69
4.18 สัดส่วนแมงกานีสในดินตัวอย่างก่อนลงคอลัมน์และหลังลงคอลัมน์.....	70
4.19 สัดส่วนตะกั่วในดินตัวอย่างก่อนลงคอลัมน์และหลังลงคอลัมน์.....	71
	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 การนำสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ กลับมาใช้ใหม่.....	83
ก.1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสดิน.....	96
ค.1 กราฟมาตรฐานของโลหะทองแดง.....	101

ค.2 กราฟมาตรฐานของโลหะเหล็ก.....	102
ค.3 กราฟมาตรฐานของโลหะแมงกานีส.....	103
ค.4 กราฟมาตรฐานของโลหะตะกั่ว.....	104

คำย่อและสัญลักษณ์

AAS	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันโฟโตมิเตอร์
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 ₂ EDTA	โซเดียมอีดีทีเอ

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์
OM	สารอินทรีย์
pH	ระดับความเป็นกรดด่าง
rpm	รอบต่อนาที
v/v	ปริมาตรต่อปริมาตร
w/v	น้ำหนักต่อปริมาตร
$^{\circ}\text{C}$	องศาเซลเซียส
$^{\circ}\text{F}$	องศาฟาเรนไฮต์
%	เปอร์เซ็นต์