

ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี
หลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

เรื่อง ผลของความถี่ในการใช้ Ultrasonic ร่วมกับเทคนิคการล้างดินในการทำ
ดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม (Cd) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

The Effect of Frequency of Ultrasonic which Combined to Soil
Washing Technique for Cadmium Removal from the contaminated
Soils Using EDTA as Washing Solution

โดย นางสาววิจิตรพร เจริญรัตน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกุล ถวิลถึง)

หลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ สีสนอง)

ประธานกรรมการบริหารหลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

วันที่ 26 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2553

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง

ผลของความถี่ในการใช้ Ultrasonic ร่วมกับเทคนิคการล้างดินในการกำจัด
ดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม (Cd) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาซักกัด

The Effect of Frequency of Ultrasonic which Combined to Soil
Washing Technique for Cadmium Removal from the contaminated Soils
Using EDTA as Washing Solution

โดย

นางสาววิจิตรพร เจริญรัตน์

เสนอ

12318104

หลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

(การจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม)

ปีการศึกษา 2552

ชื่อเรื่อง

ผลของความถี่ในการใช้ Ultrasonic ร่วมกับเทคนิคการล้าง
ดินในการกำจัดดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม (Cd) โดยใช้
EDTA เป็นน้ำยาสกัด

The Effect of Frequency of Ultrasonic which
Combinated to Soil Washing Technique for Cadmium
Removal from the contaminated Soils Using EDTA as
Washing Solution

โดย

นางสาววิจิตรพร เจริญรัตน์

ชื่อปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม)

หลักสูตร

การจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

คณะ

เทคโนโลยีเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกุล ถวิลถึง

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าของผลของที่เหมาะสมของ Ultrasonic ในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาสกัด EDTA โดยใช้ร่วมกับเทคนิคการล้างดินโดยเก็บดิน 3 จุดจากบริเวณบ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (จุดที่ 1 แปลงนาติดกับลำห้วยแม่ดาว ,จุดที่ 2 ติดหมู่บ้านพะเด๊ะ และจุดที่ 3 แปลงข้าวโพดห่างจากลำห้วยแม่ดาวประมาณ 100) ซึ่งดินแต่ละจุดจะทำการเก็บตัวอย่างดินที่ 2 ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. นำมาทดสอบการบำบัดดินโดยเก็บจุดละ 100 กิโลกรัม แบ่งเป็น 0-15 ซม. 50 กิโลกรัม และ 15-30 ซม. 50 กิโลกรัม จากนั้นทำการแยกขนาดอนุภาคโดยการร่อนผ่านเครื่องแยกขนาดอนุภาคดินเป็น 5 ขนาด คือ 2.00-1.00 มม. 0.5-1.00 มม. 0.25-0.5 มม. 0.106-0.25 มม. และ <0.106 มม. นอกจากนั้นยังเก็บตัวอย่างดินตามระดับความลึกโดยเก็บดิน 5 ระดับ คือ 0-15 ซม. , 15-30 ซม. , 30-50 ซม. , 50-70 ซม. และ 70-100 ซม. เก็บดิน 1 กิโลกรัมในแต่ละระดับความลึก เพื่อศึกษาการสะสม

แคดเมียมในดินหลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน และทำการกำจัดแคดเมียมออกจากดิน

จากการทดลองพบว่าดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง, ดินร่วนเหนียว, ดินร่วนปนทราย และดินร่วน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) พบว่าเป็นด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง และดินบางจุดมีความเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง และค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) พบว่าดินไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงสูง ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable base) พบว่า Ca มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูง K มีค่าอยู่ช่วงต่ำมากถึงปานกลาง และ Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำสูงมาก และค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (% BS) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก

ส่วนประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินด้วยน้ำยาสกัดอิดีทีเอ (EDTA) โดยใช้เทคนิคการล้างดิน (Soil washing) ร่วมกับการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 10%, 30%, 50%, และ 70% รวมทั้งการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) จากผลการทดลองพบว่าในดินจุดที่ 1 ดินบน การไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการบำบัด Cd ออกมากที่สุดทุกขนาดอนุภาคโดยสามารถกำจัด Cd ได้ 11.34-25.77% เช่นเดียวกับในดินล่างที่สามารถสกัด Cd ได้ 3.99-13.79% ยกเว้นในขนาดอนุภาคขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร และ 0.106-0.25 มิลลิเมตร ที่กำจัด Cd ได้สูงสุด 7.4-9.7% ความถี่ที่ 50% ส่วนในดินจุดที่ 2 ดินบน การไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการสกัด Cd ได้มากที่สุดทุกขนาดอนุภาคโดยสามารถสกัด Cd ได้ 6.20-20.59% ยกเว้นในอนุภาคขนาด 0.25-0.5 มิลลิเมตร และ 0.106-0.25 มิลลิเมตร ที่ความถี่ที่ 50% สามารถกำจัด Cd ได้มากที่สุดที่ 31.70-35.44% เช่นเดียวกับดินล่าง พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ 50% สามารถกำจัด Cd ได้สูงสุดที่ขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.5-1.00 มิลลิเมตร, 0.25-0.5 มิลลิเมตร, 0.106-0.25 มิลลิเมตร โดยสามารถสกัด Cd ได้ 3.44-16.1% ยกเว้นในขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร และ 0.25-0.5 มิลลิเมตร การไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการสกัด Cd ได้มากที่สุด 1.79-4.81% รวมทั้งที่ขนาดอนุภาคที่ <0.106 มิลลิเมตร การใช้

Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 10% สามารถสกัด Cd ได้ 5.74 mg/kg สำหรับดินจุดที่ 3 ดินบนพบว่าการใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการบำบัด Cd ได้สูงสุดในทุกขนาดอนุภาคโดยสามารถกำจัด Cd ได้ 1.76-32.04% ยกเว้นขนาดอนุภาค 0.106-0.25 มิลลิเมตร และ <0.106 มิลลิเมตร พบว่า การใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 50% มีประสิทธิภาพในการกำจัด Cd ออกได้ 17.56-45.48% เช่นเดียวกับในดินล่างที่สามารถกำจัด Cd ได้ 14.38-27.20% ยกเว้นในอนุภาคขนาด <2.00 มิลลิเมตร 4.53% ที่กำจัด Cd ได้สูงสุดโดยการไม่ใช้ Ultrasonic (0%)



คำนิยาม

ปัญหาพิเศษปริญาตรีฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.นฤต ฤวิธ ถึง อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่ได้ให้โอกาสทำปัญหาพิเศษ และให้คำปรึกษารวมทั้ง ร่วมแก้ไขปัญหาลงจนคำแนะนำต่างๆทำให้การทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.สมเกียรติ สีสนอง ที่กรุณาช่วยเหลือและแนะนำ รวมทั้ง อำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์ต่างๆในห้องปฏิบัติการ คุณนารี พันธุ์จินดาพรรณ ที่กรุณาช่วยเหลือ

ขอขอบคุณมารดา ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในด้านการเรียนและช่วยในการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นขอบคุณคุณคุณเสาวลักษณ์ บุญหา คุณเอกภพ เกื้อมณี คุณธนบัตร ชอหิรัญ คุณฉัตรชัย เดชดงรงค์ คุณอุทาน ยืนนาน ในการทำปัญหาพิเศษปริญาตรีฉบับนี้ หากมีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้าขออภัยในข้อผิดพลาดดังกล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาววิจิตรพร เจริญรัตน์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	๗
สารบัญภาพ	ง
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
ผลการทดลอง	35
สรุปผลการทดลอง	58
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก	62



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณแคดเมียมในดินที่มีการปนเปื้อน	12
2 ปริมาณแคดเมียมในพืชบริเวณที่มีการปนเปื้อน (ppm. นน.แห้ง)	13
3 คุณสมบัติของอิตาลีที่เอ	19
4 มาตรฐานระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอร์แลนด์	21
5 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม	21
6 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอื่นนอกเหนือจากการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม	22
7 แสดงจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างดิน และพิกัด	25
8 ปริมาณอนุภาคดินที่ผ่านการแยกอนุภาค	36
9 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 1	39
10 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 2	39
11 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 3	40
12 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน	42
13 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็น น้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ชุดตราสินค้าในการศึกษาหาความถี่	44
14 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็น น้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ชุดตราสินค้าในการศึกษาหาความถี่	46
15 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็น น้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ชุดตราสินค้าในการศึกษาหาความถี่	48
16 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็น น้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ชุดตราสินค้าในการศึกษาหาความถี่	50
17 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็น น้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ชุดตราสินค้าในการศึกษาหาความถี่	52
18 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็น น้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ชุดตราสินค้าในการศึกษาหาความถี่	54
19 ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้ง 3 จุด ในการพิจารณาการปนเปื้อน	57

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	ปริมาณแคดเมียมในดินหลังผ่านการบำบัดด้วยเทคนิคการล้างดิน	57
ตารางผนวกที่		
1	แสดงค่าวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแต่ละจุด (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})	63
2	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 1	65
3	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 2	71
4	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 3	77
5	แสดงปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ จากการใช้อีดีทีเอ เป็นน้ำยาสกัด	83



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของอิตีทีเอ	20
2 แผนที่แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน	25
3 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน	30
4 แสดงวิธีการคำนวณการเตรียมน้ำยาสกัด EDTA	31
5 แสดงขั้นตอนการศึกษาความถี่ที่เหมาะสม	33
6 ปริมาณอนุภาคดินแยกขนาดตามขนาดอนุภาค	37
7 ประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0 – 15 ซม.) โดย ใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้อุลตราโซนิกในการศึกษาหาความถี่	44
8 ประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15 - 30 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้อุลตราโซนิกในการศึกษาหาความถี่	46
9 ประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0 – 15 ซม.) โดย ใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้อุลตราโซนิกในการศึกษาหาความถี่	48
10 ประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15 - 30 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้อุลตราโซนิกในการศึกษาหาความถี่	50
11 ประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0 – 15 ซม.) โดย ใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดร่วมด้วยการใช้อุลตราโซนิกในการศึกษาหาความถี่	52
12 ประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15 - 30 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้อุลตราโซนิกในการศึกษาหาความถี่	54

คำนำ

ปัจจุบันมีการนำโลหะหนักมาใช้อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งโลหะหนักนับเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก เนื่องจากการปนเปื้อนสู่ระบบสิ่งแวดล้อมแล้วไม่มีการย่อยสลายตัวทำให้คงทนอยู่ได้นาน เช่นกรณีการทำเหมืองแร่ของบริษัทผาแดง อินดัสทรี จำกัด (มหาชน) จังหวัดตาก ที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนแคดเมียมลุ่มแม่น้ำแม่ตาบ จึงเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมและมีการปนเปื้อนสู่ห่วงโซ่อาหารต่อมาเป็นทอดๆ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยรอบ เช่นเดียวกับที่เคยเกิดโรคอิไต-อิไต ในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีการค้นพบว่า สาเหตุมาจากการบริโภคข้าวที่ปนเปื้อนสารแคดเมียม ดังนั้นนักวิจัยต่างชาติจากสถาบันจัดการ (International Water Management Institute-IMWI) จึงได้ร่วมกับนักวิชาการจากกรมวิชาการเกษตร (Department of Agriculture:DOA) ภายใต้โครงการความร่วมมือ IWMI-DOA Collaborative Project 2003-1998 ทำการตรวจวัดระดับสารแคดเมียมในดิน และข้าวบริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก รวมทั้งศึกษาแหล่งกำเนิดของสารแคดเมียมระหว่างปี พ.ศ. 2546 - 2541 ผลการศึกษาช่วงแรก พบว่ามีปริมาณสารแคดเมียมในดิน 154 ตัวอย่าง จำนวน 287-3.4 มิลลิกรัม/ดิน 1 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานสมาคม เศรษฐกิจยุโรป (EEC) ถึง 72 เท่า สำหรับผลการศึกษาถึงแหล่งกำเนิดของสารแคดเมียมนักวิจัยสรุปว่าน่าจะเกิดจากการที่ฝนตกชะหน้าดินที่อุดมด้วยแร่สังกะสี และแคดเมียมลงสู่ต้นน้ำของลำห้วยแม่ตาบในกรณีนี้ทำให้เกิดการสะสมในตะกอนท้องน้ำ เมื่อปล่อยน้ำเข้าสู่ในแปลงนาตะกอนจะตกในแปลงต้นน้ำ และลดลงในแปลงต่อไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

การปนเปื้อนของแคดเมียมในดินมักเกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์เป็นหลัก เช่นจากกิจกรรมการทำเหมืองโดยเฉพาะอย่างยิ่งสังกะสี ตะกั่ว และทองแดง จากควันท่อไอระเหยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง จากการเผาไหม้กากของเสียหรือขยะจากโรงถลุงโลหะ จากการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตที่มีแคดเมียมเจือปน จากพื้นที่ฝังกลบขยะที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้โลหะแคดเมียม และจากการใช้กากอุตสาหกรรมดังกล่าวผสมลงในดินเพาะปลูกเมื่อปริมาณแคดเมียมในดินเพิ่มขึ้นจะทำให้พืชมีโอกาสดูดซึมได้มากขึ้นด้วย

การที่จะกำจัดโลหะหนักออกจากดิน รวมถึงแคดเมียมสามารถกำจัดออกจากดินได้นั้นมีหลายวิธี และวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือ การล้างดิน (Soil Washing) ซึ่งเป็นการกำจัดโดยขุดดินขึ้นมาและนำมาล้างด้วยน้ำยาสกัดโดยปกติแล้วจะทำการแยกขนาดอนุภาคก่อน เพราะว่าความสามารถในการที่จะกำจัดแคดเมียมออกจากดินในแต่ละขนาดแตกต่างกันโดยนิยมใช้กรดและสารประกอบคีเลตเป็นน้ำยาสกัด กรดที่นิยมใช้เป็นน้ำยาสกัดแคดเมียมออกมาจากดินเช่น HCL และ HNO_3 ซึ่งหลังจากที่บำบัดดินแล้วจะทำให้ดินมีฤทธิ์เป็นกรดอย่างรุนแรง และทำให้โครงสร้างของดินสูญเสียไป ดังนั้นจึงนิยมใช้สารประกอบคีเลตมากกว่าการใช้กรด และที่มีการศึกษา และนำมาใช้คือ อีดีทีเอ (EDTA) ซึ่งความสามารถในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินโดยน้ำยาสกัดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน , ชนิดของดิน , สัดส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมระหว่างโมล (Mole) ของน้ำยาสกัดต่อโมล (Mole) ของแคดเมียมในดิน และน้ำยาสกัดอีดีทีเอ (EDTA) ต่อดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมร่วมกับเทคนิค อื่นๆเช่น Ultrasonic Processing

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินบริเวณบ้านพะเต๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
2. เพื่อศึกษาการความถี่ที่เหมาะสมในการใช้การใช้ Ultrasonic ร่วมกับวิธีการล้างดิน (Soil Washing) ในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนในบริเวณ บ้านพะเต๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก



การตรวจเอกสาร

1. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับแคดเมียม

1.1 ลักษณะโดยทั่วไป

แคดเมียมเป็นธาตุในกลุ่มโลหะทรานซิชันจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับสังกะสีในตารางธาตุ สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Cd ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

เลขอะตอม	48
น้ำหนักอะตอม	112.40
ความหนาแน่น	8.65 ที่ 20°C
จุดหลอมเหลว	321°C
จุดเดือด	765°C
Covalent radii	1.48×10^{-10} m

แคดเมียมเป็นโลหะอ่อนสีเงินสามารถดัดและตีแผ่ได้ละลายได้ในกรดทุกชนิด และละลายได้ดีในสารละลายเข้มข้นแอมโมเนียในเตรท แคดเมียมไอออนไม่มีสีและมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +2 ในธรรมชาติจะพบแคดเมียมในรูปสินแร่ กรีนนอกไคท์ (CdS) และโอตาไวท์ (CdCO₃) โดยในส่วนใหญ่แล้วมักพบปะปนอยู่กับสินแร่โลหะซัลไฟด์อื่นๆ เช่นตะกั่ว สังกะสี และทองแดง เมื่อเข้าสู่กระบวนการถลุงแร่แล้วจะได้สินแร่แคดเมียมซัลไฟด์เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้โดยเฉพาะสินแร่สังกะสี เช่น Shalerite (ZnS) หรือ Calamine (ZnCO₃) จะพบแคดเมียมปะปนอยู่ประมาณร้อยละ 0.3 – 0.1 อาจมากถึง ร้อยละ 3 (ศุภมาศ, 2539)

แคดเมียมพบกระจายอยู่ตามธรรมชาติในปริมาณน้อยแต่อาจพบมากในบางแหล่งที่มีการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ ความเข้มข้นของแคดเมียมในแหล่งน้ำจืดธรรมชาติน้อยกว่า 1 ไมโครกรัม/ลิตร ในน้ำทะเลพบแคดเมียมอยู่ระหว่าง 0.04 – 0.30 ไมโครกรัม/ลิตร สำหรับในดินมีแคดเมียมอยู่น้อยกว่า 1 ไมโครกรัม/ลิตร นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าหินตะกอนมีแคดเมียมอยู่ในช่วง 2 ถึง 10 ppm. ซึ่งปริมาณแคดเมียมนี้จะแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของดินสลายมาจากหินชนิดใด เช่นดินที่สลายจากหินอัคนีมีแคดเมียมประมาณ 0.1–0.3 ppm. ดินที่สลายจากหินแปรมี

แคดเมียม 0.1–1 ppm. และดินที่สลายจากหินตะกอนมีแคดเมียมประมาณ 0.3–11 ppm. (จักรลี, 2545)

2. แหล่งกำเนิด

แหล่งกำเนิดแคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในธรรมชาติในน้อย และหาค่อนข้างยากในสิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับโลหะหนักอื่นๆ มักจะอยู่ในรูปของสารประกอบซัลไฟด์เป็นแคดเมียมซัลไฟด์ในรูปของแร่ greenockite (CdS) หรืออีกลักษณะหนึ่งคือปะปนในปริมาณน้อยอยู่กับแร่สังกะสีทุกชนิด ดังนั้นโลหะแคดเมียมส่วนใหญ่จึงเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการถลุงแร่สังกะสี แร่โลหะอื่นๆ ประมาณ 0.3 – 1.0 เปอร์เซ็นต์ ในเปลือกโลกมีแคดเมียมโดยเฉลี่ย 0.15 – 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในหินแกรนิตและหินแปรมีแคดเมียมน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ในหินชั้นอาจมีแคดเมียมสูงถึง 11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือสูงกว่านี้โดยมีมากในหินดินดาน (Shale) ที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงในดินตะกอนของทะเลสาบในก้อนแมงกานีสออกไซด์ในมหาสมุทรและฟอสฟอไรต์ (Phosphorite) ในดินที่ยังไม่ถูกปนเปื้อนด้วยแคดเมียมจะมีปริมาณเฉลี่ยน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ปริมาณแคดเมียมในดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะและการกำเนิดของดิน ดินที่กำเนิดจากชั้นจะมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าดินที่กำเนิดจากหินอัคนีหรือหินแปร ดินเหนียวและดินที่เป็นเบสจะดูดซับแคดเมียมได้น้อยกว่า ซึ่งมีรายงานว่าเคยพบปริมาณแคดเมียมสูงกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งในน้ำธรรมชาติและน้ำประปาแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมดังกล่าวจะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตในที่สุด แต่แคดเมียมที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติยังมีปริมาณไม่สูงถึงขั้นเป็นพิษเป็นภัยต่อสิ่งมีชีวิต

3. การใช้ประโยชน์ของแคดเมียม

แคดเมียมเป็นธาตุที่ค่อนข้างหายากในธรรมชาติมักเกิดร่วมกับสังกะสีพบมากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณโลหะที่พบในสินแร่ (Francis, 1994) เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพคล้ายกัน แคดเมียมไม่มีบทบาทในสิ่งมีชีวิต แต่จะมีการใช้เพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรมหลายชนิดโดยแคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ และสินค้าอุปโภคดังนี้

1. ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสมอัลลอยด์ (Alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและความทนทานต่อการกัดกร่อนเช่น

1.1 อัลลอยด์ทองแดงที่มีแคดเมียม 1 เปอร์เซ็นต์ (Cadmium bronze) ใช้ในการผลิตเส้นลวดโทรเลขและโทรศัพท์

1.2 อัลลอยด์ของทองแดงและตะกั่ว ซึ่งมีแคดเมียมผสมอยู่ 20 เปอร์เซ็นต์ ในการผลิตแบบพิมพ์ (Printing plates)

1.3 อัลลอยด์ของทองแดง แคดเมียม และเซอร์โคเนียม ใช้ในอุปกรณ์การสื่อสารต่างๆ ที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงๆ ทั้งนี้เพราะโลหะผสมประเภทนี้จะมีค่าความแข็งและมีแรงดึงได้สูงกว่าโลหะผสมของทองแดงกับแคดเมียม

1.4 แคดเมียมใช้ผสมกับโลหะอื่นในอุตสาหกรรมเพชรพลอย และเครื่องประดับอัญมณีต่างๆ โดยอาจผสมกับโลหะอื่นชนิดเดียว (ผสมทอง) ผสมกับโลหะอื่น 2 ชนิด (ทอง 75% ,เงิน 16.6%) ผสมกับโลหะ 3 ชนิด (ทองแดง เงิน และทอง)

1.5 ใช้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูงๆ ในการผสมกับโลหะอื่น เพื่อให้มีคุณสมบัติกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น cadmium arsenide, cadmium antimonide และ cadmium telluride

2. ใช้ในการชุบโลหะโดยใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วิทยุ เป็นต้น

3. ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรมสารประกอบแคดเมียมซัลไฟด์และแคดเมียมซัลไฟซีลไนต์ ใช้ในการให้สีในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สีอีนามัล เซรามิก ยาง แก้ว ผ้า เส้นใย หนังสือพิมพ์ และพลาสติก

4. ใช้ผลิตแบตเตอรี่โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิลเป็น Cd - Ni battery ซึ่งนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แฟลชถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด นาฬิกาและวิทยุเล็กๆ เป็นต้น

5. ใช้ในกิจการอื่นๆ เช่น

5.1 ใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อราที่ใช้ในกิจการเกษตร

5.2 ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณูเป็นตัวควบคุมอัตราการแตกตัวของนิวเคลียร์

5.3 ใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์

5.4 ใช้ในการถ่ายรูป เช่น Cd - Br, Cd - I

5.5 สารประกอบแคดเมียมบางชนิดใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของพลาสติก เช่น

cadmium stearate

5.6 ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องทนความร้อน เช่น ทำหม้อน้ำรถยนต์ อุปกรณ์ทำความเย็นต่างๆ ที่ต้องระบายความร้อนมากๆ

4. กรรมวิธีการผลิตแคดเมียม (Cadmium Production Process)

แคดเมียมเป็นแร่ที่พบกระจายปนกับแร่ชนิดอื่นไม่ได้ เป็นแร่ที่แยกเป็นเอกเทศ และมักพบปนอยู่กับแร่สังกะสีในปริมาณ 0.1 – 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณแคดเมียมจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสังกะสีในแร่ กล่าวคือถ้าในแร่มีปริมาณสังกะสีสูงปริมาณแคดเมียมจะสูงตามไปด้วยซึ่งอัตราส่วนระหว่างแคดเมียมและสังกะสียังพบปะปนอยู่ในแร่ตะกั่วและทองแดง แต่พบในปริมาณน้อยกว่าสำหรับแร่สังกะสีในประเทศไทยที่ขุดได้ในจังหวัดตากมีแคดเมียมประกอบอยู่ 0.23 – 0.38 เปอร์เซ็นต์

ในการผลิตแคดเมียมนั้นได้จากผลิตผลที่เหลือจากการถลุงสังกะสี ตะกั่ว หรือทองแดงซึ่งผลิตผลที่เหลือที่สำคัญที่นำมาใช้ในการผลิตแคดเมียม คือ ก้อนของสังกะสี แคดเมียม จากการถลุงสังกะสีซึ่งมีแคดเมียม 2.5 – 10 เปอร์เซ็นต์ หรือผลิตผลที่เหลือจากการกลั่นของการผลิตตะกั่วและสังกะสีในรูปของฝุ่นตะกั่วที่มีแคดเมียมประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ และผงที่มีแคดเมียม 0.7 – 1.07 เปอร์เซ็นต์ แต่ส่วนใหญ่ผลิตผลที่เหลือที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแคดเมียมคือ ก้อนของสังกะสี แคดเมียม

กระบวนการในการผลิตแคดเมียมจากผลิตผลที่เหลือ หรือประเภทก้อนของสังกะสี แคดเมียมส่วนใหญ่จะใช้วิธี Hydrometallurgical ซึ่งมีขั้นตอนหลักๆดังนี้

1. บดให้ละเอียดและแขวนลอยในน้ำ (Leaching Process)
2. กระบวนการแยกสิ่งเจือปนต่างๆ ออก (Purification Process)
3. แยกแคดเมียมออกจากสารละลายโดยใช้ไฟฟ้า (Electrolytic)
4. นำแคดเมียมที่แยกได้มาหลอมละลาย
5. นำมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้ได้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูง

สำหรับการสกัดเอาแคดเมียมออกจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีแคดเมียมประกอบอยู่มีขั้นตอนการสกัดดังนี้คือ

1. นำผลิตภัณฑ์เหล่านั้นไปละลายในกรดซัลฟิวริกเจือจางจะทำให้แคดเมียมและสังกะสีละลายออกมาจากนั้นแคดเมียมจะตกตะกอนลงมากับฝุ่นสังกะสี
2. แยกตะกอนแคดเมียมออกมา (ตะกอนนี้มีแคดเมียมประมาณ 50 – 80 เปอร์เซ็นต์ สังกะสีประมาณ 10 -20 เปอร์เซ็นต์) ส่วนที่เหลือจะเป็นเหล็กและทองแดง
3. นำตะกอนแคดเมียมผึ่งลมเพื่อให้เกิดการออกซิไดซ์เป็นเวลา 2 -3 สัปดาห์ (ขั้นตอนนี้บางแห่งใช้ไอน้ำ)
4. นำตะกอนดังกล่าวมาสกัดเอาแคดเมียมออกมาได้นำไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 70 – 80 g/L
5. แคดเมียมซัลเฟตจะถูกตกตะกอนจากสารละลายโดยการใช้ไฟฟ้าที่ 40 องศาเซลเซียส
6. นำเอาแคดเมียมที่เพาะติดอยู่บนแท่งแคโทดออกทำให้แห้งและนำไปหลอมอีกครั้งที่อุณหภูมิ 330 – 335 องศาเซลเซียส
7. แคดเมียมที่ได้จะถูกหล่อให้เป็นก้อนหรือแท่ง

ส่วนกระบวนการสกัดแคดเมียมออกจากฝุ่นของตะกั่วทำได้โดยการนำไปละลายด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิ 400 – 500 องศาเซลเซียส แล้วตามด้วยวิธี Hydrometallurgical จากการที่ในก้อนมีปริมาณแคดเมียมแตกต่างกันไปดังนั้นในกระบวนการบดให้ละเอียดและแขวนลอยในน้ำจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มหรือดัดแปลงวิธีการให้แตกต่างกันไปถ้าปริมาณแคดเมียมในก้อนมีมากกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ ใช้การบดละเอียดและแขวนลอยในน้ำอย่างเดียวถ้าปริมาณแคดเมียมในก้อนมี 3 – 6 เปอร์เซ็นต์ ในการบดละเอียดและแขวนลอยในน้ำ ซึ่งสามารถละลายทั้งแคดเมียมในก้อนมีน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ โดยการบดให้ละเอียดและแขวนลอยในน้ำทั้ง 2 ครั้งกล่าวคือครั้งแรกโดยการ Caburization Cadmium จากสารละลายที่มีแร่แขวนลอยอยู่แล้วตามต้องการกระบวนการชะล้างก้อนทองแดงแคดเมียม ออกมาโดยใช้เครื่องเซนติฟิวส์ซึ่งแคดเมียมที่ได้จะถูกนำมาผ่านกระบวนการอื่นๆอีกเพื่อให้ได้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูง

ในการสกัดแคดเมียมออกจากผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปประเภทตะกั่วหรือทองแดงใช้วิธี Amalgam โดย Cuburization หรือ Zinc Amalgam แล้วตามด้วยปฏิกิริยา Anodic Oxidation (มนตรี, 2543)

4.1 ความเป็นพิษของแคดเมียม

โรคพิษแคดเมียมมีการจดบันทึกและรายงานครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2401 มีอาการแสบตา ปวดศีรษะ

มึนงง บ้านหมุน คอแห้ง ไอ แน่นหน้าอก ขาไม่มีแรง มีอาการหนาวสั่นคลื่นไส้อาเจียน ปวดท้อง และหายใจไม่ออก

การเข้าสู่ร่างกายและกลไกการเกิดพิษนั้นเนื่องจากแคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้สองทาง คือทางการกินและการหายใจ เมื่อคนกินเข้าไปแคดเมียมมักถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร ประมาณร้อยละ 6 แต่ในภาวะที่ร่างกายขาดธาตุเหล็กมักทำให้เกิดการซึมเข้าสู่ร่างกาย และส่วนทางการหายใจรับฝุ่นหรือไอควันแคดเมียมในบรรยากาศเข้าทางปอดประมาณร้อยละ 20 -50 ภายหลังจากการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้วแคดเมียมถูกลำเลียงต่อไปยังตับและจับกับโปรตีน ประมาณร้อยละ 80 -90 ของจำนวนแคดเมียมทั้งหมด และประมาณร้อยละ 50 ของแคดเมียมที่มีอยู่ทั้งหมดในร่างกายสะสมอยู่ในตับและไต

แคดเมียมมีครึ่งชีวิตอยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 ปี ดังนั้นถ้าร่างกายได้รับแคดเมียมในปริมาณมาก ๆ จึงไม่สามารถขับออกได้ทั้งหมด ทำให้เกิดพิษต่อร่างกายหลายลักษณะ เช่นถ้ามีการสูดควันออกไซด์ของแคดเมียมจะเป็นอันตรายต่อปอดอย่างเฉียบพลันเกิดลักษณะปอดอักเสบและในกรณีที่รุนแรงอาจเกิดน้ำท่วมปอด ถ้าได้รับฝุ่นแคดเมียมออกไซด์จะก่อให้เกิดพังผืดในเนื้อปอดจนถึงการเกิดโรคถุงลมโป่งพองได้ซึ่งลักษณะอาการจากการได้รับพิษของแคดเมียมจะมีทั้งอาการพิษเฉียบพลันและเรื้อรัง

1) อาการพิษเฉียบพลัน

ถ้ามีการหายใจรับเอาออกไซด์ของแคดเมียมจะเป็นอันตรายต่อปอดแบบเฉียบพลัน ภายใน 2 ถึง 4 ชั่วโมง ทำให้มีอาการปอดอักเสบ เจ็บคอ แน่นหน้าอก คลื่นไส้ เวียนศีรษะ ปวดบวมมาก และอาจถึงตายได้ และถ้าได้รับแคดเมียมจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่เป็นกรด ซึ่งมีแคดเมียมเกินกว่า 15 มิลลิกรัมต่อกรัม ก่อให้เกิดอาการของอาหารเป็นพิษ ได้แก่คลื่นไส้อาเจียน

ปวดท้อง ท้องเสีย และอาจถึงแก่ชีวิตได้จากการสูญเสียน้ำและเกลือแร่จนช็อกหรือไตวาย โดยเฉพาะถ้ากินแคดเมียมเข้าไปเกินกว่า 300 มิลลิกรัม อาจทำให้เสียชีวิตได้

2) อาการพิษแบบเรื้อรัง

อาการพิษแบบเรื้อรังของแคดเมียมจะเกิดขึ้นเมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมในปริมาณน้อยๆ ติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดผลเสียต่อการสร้างกระดูกโดยจะไปลดการสะสมของ แคลเซียมทำให้ประสิทธิภาพในการสร้างและซ่อมแซมกระดูกได้น้อยลงและไม่มีการสะสมของ collagen ในกระดูกเพราะแคดเมียมเป็นตัวการทำให้เอนไซม์ Lysyl Oxidase หดประสิทธิภาพ จึงทำให้กระดูกผุกร่อนเสียรูป และทำให้เจ็บปวดมาก หรือที่เรียกว่าโรคอิไต – อิไต เมื่อร่างกาย สะสมแคดเมียมเพิ่มขึ้นแคดเมียมจะไปกวนเมตาโบลิซึมของเหล็ก สังกะสี ทองแดง และฟอสฟอรัส ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ทำให้เกิดความดันโลหิตสูง และโลหิตจาง ตับ และไตทำงาน ผิดปกติ ทำให้เกิดมีโปรตีนปะปนออกมาในน้ำปัสสาวะนอกจากนี้ยังพบว่าปอด ตับอ่อน ระบบ ทางเดินอาหารระหว่างส่วนกลาง และเส้นประสาทจะถูกทำลายด้วย (อรดี, 2547)

โรคอิไต – อิไต (Itai – Itai disease)

ในอดีตได้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักคือแคดเมียมในน้ำข้าวจากแม่น้ำจินทลี ซึ่งต้นน้ำ ขึ้นไปมีการปล่อยน้ำเสียจากโรงถลุงแร่ของบริษัทมิตซูบิ ที่ผลิตแร่ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ซึ่ง แคดเมียมจะเป็นของเหลือทิ้งออกมา ทั้งนี้เพราะในธรรมชาติมักจะพบแคดเมียมร่วมกับสังกะสี เสมอในอัตราส่วน Zn/Cd ประมาณ 900/1 ในข้าวที่บริโภคนั้นมีแคดเมียมปริมาณ 1 ppm. ในช่วง เวลาดังกล่าวเป็นช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่สองคือ ในปี พ.ศ.2489 หมอชื่อ Dr.Noboru Hagino ได้พบโรคเป็นครั้งแรกในเมืองโทยามะ โดยเริ่มเป็นที่ไตล้มเหลว ปวดกระดูก จนถึงกระดูกผิดรูปจะ พบได้มากที่สุดหญิงที่มีบุตรแล้ว อาการของโรคที่พบได้ง่ายที่สุดคือ จะรู้สึกเจ็บจากการกดก กระดูกโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดูกต้นขา กระดูกสันหลัง และกระดูกซี่โครง เรียกว่าโรค “อิไต – อิไต” ซึ่งแปลเป็นไทยว่าโรค “ไอ้ยเจ็บ ไอ้ยเจ็บ” อันเป็นคำอุทานเมื่อรู้สึกเจ็บปวด ถ้าเป็นมากกระดูกจะ ผุและผิดรูปถ้าเป็นหลายปี กระดูกจะผิดรูปถึงขั้นเดินไม่ได้และแม้กระทั่งกระดูกจะหักเพียงแค่อั ถแรงๆในช่วง 20 ปี หลังจากเกิดเหตุมีคนตายเนื่องจากโรคนี้กว่าร้อยคนภายหลังจากนี้ได้พบโรคนี้ อีกหลายแห่งในประเทศญี่ปุ่น (ศุภมาศ, 2540)

5. การดูดซึมแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย

แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทาง คือ ทางการกินและการหายใจเมื่อคนกินอาหารหรือน้ำที่ปนเปื้อนแคดเมียมเข้าไป แคดเมียมมักถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหารประมาณร้อยละ 10 (FAO and WHO, 1972) แต่ในภาวะที่ร่างกายขาดธาตุเหล็กมักทำให้การดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้สูงขึ้นถึงร้อยละ 20 ของจำนวนแคดเมียมที่กินเข้าไป ส่วนการเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจมักเกิดจากการหายใจรับฝุ่นหรือไอของแคดเมียมหรือจากการสูบบุหรี่และถูกดูดซึมที่ปอดร้อยละ 10 ถึง 40 เมื่อแคดเมียมถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแคดเมียมจะถูกลำเลียงต่อไปยังตับและรวมตัวกับโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีชื่อว่า เมทัลโลไธโอนิน (Metallothionin) ประมาณร้อยละ 80 ถึง 90 ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดพิษจากแคดเมียมตามปกติแคดเมียมที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ประมาณร้อยละ 10 จะถูกขับออกจากร่างกายได้ ส่วนที่เหลือจะหมุนเวียนในกระแสเลือดและสะสมในอวัยวะต่างๆ เช่น ตับ ม้าม ไต โดยในไตจะสะสมอยู่ประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกาย (อรดี, 2547)

4.2 การแพร่กระจายแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อม

การแพร่กระจายของแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อมโดยปกติทางธรรมชาติแคดเมียมจะแพร่สู่สิ่งแวดล้อมจากการระเบิดของภูเขาไฟ จากหยาดน้ำฟ้า การพังทลายของหินต้นกำเนิด แต่ปริมาณยังน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ การแพร่กระจายโดยกิจกรรมของมนุษย์การแพร่ของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมจะเพิ่มตามการเพิ่มของประชากรโลกและโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานทำสี ทาบ้าน พลาสติก โรงงานผลิตเชื้อราบางชนิด ส่วนในเมืองที่มีอุตสาหกรรมการถลุงแร่สังกะสีและแคดเมียมจะเกิดแคดเมียมในรูปอนุภาคออกไซด์เล็กๆ สูงมากจากชุมชนโดยเกิดจากการเผาขยะที่มีถุงพลาสติกแคดเมียมจะกระจายไปสู่บรรยากาศในรูปอนุภาคออกไซด์เล็กๆ สูงมากการหลอมเหลว และเผาพลาสติกจะเป็นแหล่งของแคดเมียมในบรรยากาศที่สำคัญเมื่อฝนตกก็จะชะลงสู่แหล่งน้ำและจะสะสมในดินตะกอนต่อไปแคดเมียมที่ปรากฏในน้ำอาจเป็นรูปของอนุภาคที่เป็นคอลลอยด์อนุภาคดินเหนียวจะทำให้ปริมาณแคดเมียมในลำธารสูงขึ้นเนื่องจากการแลกเปลี่ยนไอออนบนผิวอนุภาคนอกจากนี้แคดเมียมยังเกิดสารเชิงซ้อนกัลลิแวนต์ที่เป็นสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบของแคดเมียมในรูปต่างๆ คือ พีเอช

และปริมาณสารอินทรีย์ที่ปรากฏเมื่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น พีเอช ลดลงมีผลทำให้ แคลเซียมละลายน้ำเพิ่มขึ้นโดยอยู่ในรูปของ Cd^{2+} และเกลือของ Cl^- , SO_4^{2-} (เบญจลักษณ์, 2546)

ตารางที่ 1 ปริมาณแคลเซียมในดินที่มีการปนเปื้อน

แหล่งปนเปื้อน	พิสัย	ประเทศ	หมายเหตุ
เหมืองแร่สังกะสี	2 - 336	สหราชอาณาจักร	
	6 - 64	ญี่ปุ่น	
อุตสาหกรรมโลหะ	3 - 1,781	เบลเยียม	
	1.8 - 88	ญี่ปุ่น	
	26 - 1,500	อเมริกา	
สวนในเมือง	1 - 17	สหราชอาณาจักร	
	0.02 - 13.6	อเมริกา	
กากตะกอน, พท.ชลประทาน, ญี่ปุ่น	15 - 57	ฮอลแลนด์	6-16 ตัน นน. แห่งของกากตะกอน/เฮกตาร์/ปี รวม 5
	2.2 - 8.3	ญี่ปุ่น	ปี นาข้าว

ที่มา : ศุภมาศ (2540)

ตารางที่ 2 ปริมาณแคดเมียมในพืชบริเวณที่มีการปนเปื้อน (ppm.นน.แห้ง)

ชนิดพืช	พืช	ส่วนของพืช	พืช	หมายเหตุ
เหมืองแร่เก่า	หญ้า	ใบ	1.1 – 2.0	สหราชอาณาจักร
	ถั่วโคลเวอร์	เหนือดิน	4.90	สหราชอาณาจักร
อุตสาหกรรมโลหะ	หญ้า	ใบ	8.20	สหราชอาณาจักร
	ผักกาดหอม	ใบ	45.00	ออสเตรเลีย
	ข้าว	เมล็ดไม่ขัดสี	0.72 – 4.17	ญี่ปุ่น
สวนในเมือง	กะหล่ำปลี	ใบนอก	1.1 – 3.8	สหราชอาณาจักร
	ผักกาดหอม	ใบ	0.9 – 7.0	อเมริกา
กากตะกอน ,พท.	ข้าว	เมล็ดไม่ขัดสี	5.2 (ค่าสูงสุด)	ญี่ปุ่น
ชลประทาน, ฝาย	ข้าวโพด	ใบแสดงอาการ	35.00	อเมริกา
	ถั่วเหลือง	เมล็ด	2.30	อเมริกา
	ข้าวสาลี	เมล็ด	2.2 – 14.2	รัสเซีย
		ใบ	19 – 47	รัสเซีย
		ราก	397 – 898	รัสเซีย

ที่มา : ศุภมาศ (2540)

6. เทคโนโลยีในการบำบัดสารพิษในดิน

วิธีการบำบัดโลหะที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน แบ่งเป็น 11 วิธีได้แก่

- 1. Isolation and containment คือวิธีการแยกและควบคุมโลหะหนักโดยการปรับสภาพให้คงตัว (Solidificstion) หรือการปรับสภาพให้เสถียร (Stabilization) เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะ
- 2. Mechaical separation คือวิธีการแยกอนุภาคเพื่อนำไปบำบัดโดยใช้เครื่อง Hydrocyclone หรือ Fluidized bed ซึ่งอาศัยหลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และแรงโน้มถ่วงนอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมี เช่นสารช่วยการลอยตัว และการแยกโลหะหนักโดยอาศัยแม่เหล็ก
- 3. Pyrometallurgical separation คือวิธีการบำบัดสำหรับโลหะหนักที่สามารถระเหยได้ โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 – 700 องศาเซลเซียส เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการบำบัดปรอท

4. Chemical treatment คือวิธีการบำบัดทางเคมีโดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือการปรับพีเอชด้วยสารละลายกรดหรือเบส เพื่อลดความเป็นพิษ ตกตะกอนหรือเพื่อละลาย โลหะหนัก

5. Permeable treatment walls คือวิธีการบำบัดโดยใช้แผงกั้นที่มีความสามารถในการซึม ผ่าน ลดการเคลื่อนที่ของโลหะในน้ำใต้ดิน

6. Electrokinetics คือการแยกไอออนบวกและไอออนลบในน้ำใต้ดิน โดยผ่าน กระแสไฟฟ้าไปยังขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง (Cathod และ anode)

7. Biochemical process คือวิธีการบำบัดโดยอาศัยกระบวนการทางชีวเคมีได้แก่ การชะ ทางชีวภาพ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นการใช้แบคทีเรีย และ ความคุมสภาวะต่างๆเช่นปริมาณออกซิเจน ค่าพีเอช และอุณหภูมิ

8. Phytoremediation คือการบำบัดโดยใช้พืชเป็นตัวสกัดโลหะหนักออกจากดินและน้ำใต้ ดิน ซึ่งอาจนำวิธีบำบัดวิธีอื่นมารวมด้วย เช่นการสกัดโลหะหนักด้วยกรด

9. Soil Flushing คือวิธีการสกัดโลหะหนักออกจากดินโดยใช้น้ำหรือสารละลายชะ ล้างเจือปนออกมาซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายในแหล่งปนเปื้อนได้

10. Treatment of sediments คือวิธีการบำบัดกากตะกอนโดยอาศัยหลักการต่างๆเช่น Hydrocyclone ,Soildification ,Stabilization และการสกัดด้วยสารละลายกรด

11. Soil washing (Chemical leaching) คือวิธีการบำบัดโลหะหนักออกจากดินปนเปื้อน ด้วยการใส่สารละลายสกัดต่างๆเช่นซีเลตติงค์เอเจนต์ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถ ปฏิบัติภายนอกแหล่งปนเปื้อนได้ (คมสรว และปนัดดา, 2547)

7. เทคโนโลยีในการสกัดแคดเมียมออกจากดินด้วยวิธีการล้างดิน (Soil Washing)

1. วิธีการล้างดิน(Soil Washing)

การล้างดิน(Soil Washing) เป็นการนำดินออกมาล้างนอกบริเวณที่ปนเปื้อนด้วย กระบวนการสกัดและแยกสารปนเปื้อนอินทรีย์ อนินทรีย์ และกัมมันตรังสีออกจากดินด้วยการใช้ สารเคมีหรือ วิธีการทางกายภาพมักจะถูกนำมาใช้เป็นการบำบัดเบื้องต้นเพื่อลดปริมาณของ ของ เสียก่อนการจำกัดโดยวิธีอื่น วิธีการคือการขุดดินและนำมากองไว้ทำการบำบัดเบื้องต้นเพื่อจำกัด

ไม่ให้มีวัสดุใหญ่มากเกินไปด้วยการล้างน้ำและการใช้สารทำความสะอาดอื่นเพื่อทำการแยกและรวมสารปนเปื้อนออกมา กระบวนการนี้จะได้น้ำมันสะอาดกลับคืนมาใช้ประโยชน์และสารปนเปื้อนที่เข้มข้นในส่วนที่ดินอีกส่วนหนึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้มาก การทำการแยกสารปนเปื้อนออกจากดินนั้นอาจจะใช้สารสกัดด้วยวิธีกายภาพหรือเคมีและอาจจะใช้เทคนิคในการแยกปนเปื้อนที่เป็นพวกอินทรีย์ อินทรีย์ และกัมมันตรังสีออกจากดิน วิธีการขุดดินมากองไว้แล้วทำการร่อนด้วยตะแกรงเพื่อกำจัดวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าออกไป การล้างดินนำมากองไว้แล้วทำการร่อนด้วยตะแกรงเพื่อกำจัดวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าออกไป การล้างดินมักจะนิยมใช้ในการล้างดินที่มีการปนเปื้อนด้วยสารที่ไม่มีความซับซ้อน (Non-complex soil) เช่นมีทรายและกรวดไม่น้อยกว่า 50% จะไม่มีประสิทธิภาพพอเพียงสำหรับดินที่มีดินเหนียวและดินทรายปนโคลนอยู่มากนอกจากนี้ดินที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนออสอนบวกสูงเนื่องจากมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนสารมลพิษได้สูงและมีแนวโน้มที่จะทำการยึดสารมลพิษไว้นานกว่าซึ่งถ้าเป็นเช่นนี้การล้างดินก็จะไม่เกิดประสิทธิภาพเท่าที่ควรซึ่งมีเทคโนโลยีในการล้างดินดังนี้

1.1 การบำบัดเบื้องต้น (Pretreatment) เป็นการกำจัดวัสดุที่มีขนาดหยาบใหญ่ออกไปแล้วทำให้เกิดเป็นเนื้อเดียวกันของสารที่เติมเข้าสู่กระบวนการที่ถูกนำมาใช้ อาจเป็นการคลุด การขุด การใช้ตะแกรงกรอง การใช้เครื่องร่อน/เขย่า และเครื่องป้อนวัตถุดิบแบบเครื่องแยกแบบแรงโน้มถ่วง เป็นต้น

1.2. การแยกออก (Separation) จะทำการแยกของแข็งขนาดใหญ่และของแข็งขนาดเล็กออกจากกันที่ขนาด 63 ถึง 64 ไมครอน (200 ถึง 230 Mesh)

1.3. การบำบัดของแข็งเม็ดหยาบ (Coarse-grained treatment) หลังจากผ่านขั้นตอนการแยกแล้ว ของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่า (63 ถึง 64 ไมครอน 200 ถึง 230 Mesh) ควรจะมีจำนวน 5% ของของแข็งทั้งหมดโดยน้ำหนัก

1.4. การบำบัดของแข็งละเอียด (Fine-Grained treatment) ถึงแม้ขนาดของของแข็งที่จะทำการแยกอนุภาคเริ่มจากขนาดเล็กกว่า 63 ถึง 64 ไมครอน (200 ถึง 230 Mesh) โดยทั่วไป มักจะมีขนาดของของแข็งที่อยู่ในช่วงคอลลอยด์ 6 – 10 ไมครอน

1.5. การบำบัดน้ำจากระบบการ (Process water treatment) น้ำล้างจะถูกนำมาบำบัด เพื่อการหมุนเวียนกลับมาใช้อีกน้ำล้างที่จะปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำหรือแหล่งน้ำจะต้องเป็นไปตาม ข้อกำหนดของกฎหมาย เช่น pH อยู่ในช่วง 6 – 9 เป็นต้น

1.6. การจัดการเศษของเหลือ (Residuals Management) ปริมาณของสารและเศษของ สารที่เหลืออยู่จากการล้างดินนั้น อนุภาคที่ละเอียดที่ปนเปื้อนจากตะกอนที่เกิดจากการล้างดิน อาจถูกนำไปกำจัดด้วยการฝังกลบที่ถูกต้องตามข้อกำหนดของกฎหมาย

กระบวนการในการกำจัดสารปนเปื้อนในดินแบ่งเป็น 3 ประเภท (นัทธีรญา, 2545) ดังนี้

1). การสกัดด้วยน้ำซึ่งเป็นสถานที่ใช้ในการสกัดต่างๆมี 3 ประเภทดังนี้

-การเติมสารที่ช่วยในการลดแรงตึงผิว เพื่อที่จะเพิ่มการละลายของสารปนเปื้อน
ลงในน้ำ

-การเติมคีเลตติ้งค์เอเจนต์ซึ่งเป็นสารที่เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับโลหะและช่วยให้
การละลายดีขึ้น

-การเติมสารละลายกรด หรือด่างเพื่อที่จะช่วยในการเพิ่มการเคลื่อนที่ทำให้เป็น
กลางและทำลายสิ่งปนเปื้อน

2). การใช้สารละลายสกัดสารปนเปื้อนของสารอินทรีย์โดยสารอินทรีย์ที่ละลายได้จะ
เคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในสารละลาย

3). การกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกด้วยอากาศนิยมใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้โดยใช้
ไอน้ำ หรืออากาศมาประยุกต์ใช้โดยอาศัยความร้อน และสภาวะสุญญากาศ หรือทั้งสองแบบมา
ช่วยเพิ่มอัตราการสกัด

สารที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยวิธีการล้างดิน (Soil washing) แต่ละ
ชนิดมีประสิทธิภาพแตกต่างกันออกไป สารที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักในการศึกษาในครั้งนี้คือ
สารประกอบคีเลตติ้งค์เอเจนต์ (Chelating agent) ได้แก่ โซเดียมอีดีทีเอ (Sodium EDTA : Na₂
EDTA

8. การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในดิน

1. การกำจัดสิ่งปนเปื้อนโดยใช้ความร้อน

นิยมใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้โดยใช้ไอน้ำหรืออากาศมาประยุกต์ใช้โดยอาศัยความร้อนและสถานะสุญญากาศ หรือทั้งสองแบบมาช่วยเพิ่มอัตราการสกัด วิธีการนี้ควรมีการกำจัดพวก Flue gas ด้วยโดยใช้ถุงกรอง ตัวควบแน่น สดักเบอ์และแอ็คติเวเต็ดคาร์บอน หรืออาจใช้พวก Cataytic oxidizing reactor ก่อเริ่มบำบัดต้องกำจัดพวกหินที่มีขนาด 20 มิลลิเมตร หรือมากกว่าออกก่อน

2. การขุดดินเป็นทาง (Excavatin)

การขุดดินเป็นทางและการกำจัดทางกายภาพของดินเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสารปนเปื้อนในดิน มักใช้พื้นที่ที่ปนเปื้อนด้วย ข้อดีของวิธีนี้คือทำได้รวดเร็วข้อเสียก็คือพื้นที่ที่ต่างกันก็ไม่สามารถกำจัดได้เหมือนกัน ซึ่งอาจจะต้องตรวจสอบความเสี่ยงในการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนและอนุภาคฝุ่นระหว่างการกำจัดและการขนส่งสารปนเปื้อนในดินวิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายเพราะเกี่ยวข้องกับดินปริมาณที่จะต้องกำจัดและนำสารพิษหรือสารอันตรายไปกำจัด

3. การตรึงโลหะหนักไว้ในดิน (Stabilizing metals in the soil)

โลหะหนักสามารถกำจัดออกและลดปริมาณลงได้โดยการตรึงให้อยู่กับที่โดยใช้ชีวภาพในการกำจัด มีข้อดีมากกว่าการขุดเจาะให้เป็นทาง คือมีการเพิ่มสารเคมีลงไปในดินซึ่งจะไปจับตัวกับสารปนเปื้อนและจะอยู่ในรูปแร่ พืช สัตว์ และมนุษย์ไม่สามารถดูดซับได้ และไม่ทำให้สิ่งแวดล้อมถูกทำลายหรือเกิดสารอันตรายใหม่เกิดขึ้นได้ ในทางกลับกันทำให้ความเป็นพิษลดน้อยลง โลหะหนักก็ยังอยู่ในดินแต่ความเป็นอันตรายลดลง เช่นเดิมฟอสเฟตลงไปที่ตรงพวกตะกั่วไว้ เรียกว่า Lead pyromorphite คล้ายแร่ซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ง่าย มีข้อดี 2 อย่าง คือ แร่ (โลหะหนัก) ไม่กระจายในน้ำหรือน้ำผิวดิน โลหะหนักฟอสเฟตเข้าไปในห่วงโซ่อาหารได้น้อย และใช้เวลาน้อยเหมือนกับการขุดเจาะเป็นทาง

4. การใช้พืช

การเจริญเติบโตของพืชช่วยลดโลหะหนักได้เรียกว่า Phytoremediation มีข้อดี คือราคาถูก เป็นที่ยอมรับกันในระดับกว้าง ราคาค่าใช้จ่ายแค่หนึ่งในสี่ของการขุดเจาะเป็นทางหรือการตรึงโลหะหนัก แต่มีข้อเสียคือใช้เวลานาน พืชสามารถทำให้สารปนเปื้อนในดินไม่แพร่กระจายโดย

เรียกว่า Photoatabilization หรือพืชจะบังลม และป้องกันการกัดเซาะของสารพิษ เช่น หนูหรือ ต้นไม้ลดการตกตะกอนจากการปนเปื้อนในหลาย ๆ ที่สามารถลดลงได้ถึง 18-25 เปอร์เซ็นต์ อีกทางหนึ่ง คือพืชสามารถทำความสะอาดสารปนเปื้อนในดินโดยเรียกว่า Photoatabilization พืชบางชนิดสามารถจับโลหะหนักเข้าไปในเนื้อเยื่อได้พืชที่ปนเปื้อนก็สามารถกำจัดให้ปลอดภัยได้ บางทีการแก้ไขดินก็ควรเพิ่มความสามารถในการดูดซับโลหะหนักด้วย เช่น ใช้พวกต้นมัสตาร์ดอินเดีย สกัดตะกั่วออกจากดินและลดปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วในบริเวณที่หลากหลาย พืชชนิดอื่นที่ใช้ก็คือ อัลฟาฟา กะหล่ำปลี ต้นสน และต้นป๊อบลาร์อีกทางหนึ่งที่ใช้พืชในการบำบัดเรียกว่า Rhizofiltration ในวิธีนี้โลหะถูกกำจัดโดยตรงจากน้ำโดยรากของพืชจะเติบโตในน้ำหรือในทรายที่มีน้ำหนักรากมาก ส่วนมากจะกำจัดพวกโลหะกัมมันตรังสีโดยพืชที่ลอยอยู่ในน้ำ และพืชชนิดอื่นก็กำจัดโลหะหนักออกจากระบายออกจากเหมืองแร่ ในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้พืชควรใช้วิธีกำจัดอย่างระมัดระวังเพราะมีสารพิษในปริมาณมาก

9. อีดีทีเอ (Ethylene Diamine Tetra – Acetic Acid, EDTA)

1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอีดีทีเอ

อีดีทีเอ หรือ Ethylene Diamine Tetra – Acetic Acid เป็นสารประกอบหลักในน้ำยาทำความสะอาดชีว บ้างก็นำอีดีทีเอมาใช้เป็นสารเคมีเลชัน เนื่องจากอีดีทีเอสามารถจับกับโลหะหนักและโลหะทรานซิชันทำให้สามารถละลายน้ำได้ดินนอกจากนี้อีดีทีเอยังใช้เป็นตัวยับยั้งการเน่าเสียของอาหาร โดยเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสียนั้นจะจับอยู่กับโลหะทรานซิชัน อีดีทีเอจะจับกับโลหะนั้นแทนทำให้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสียได้ (Benjamin, 2002) โรงงานที่ใช้อีดีทีเอเป็นสารเคมีเลชัน คือโรงงานที่ใช้กระบวนการชุบโลหะแบบ non-cyanide based โรงงานกระดาษและเยื่อกระดาษ

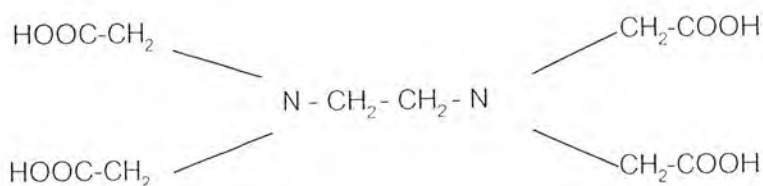
ตารางที่ 3 คุณสมบัติของอีดีทีเอ

สูตรทางเคมี	$C_{10}H_{16}O_8N_2$
CAS Number	60-00-4
ลักษณะ	เกร็ดหรือผงสีขาว
มวลโมเลกุล	292.25
พีเอช	2.5-3.0
pK_{a1-6}	0.0, 1.5, 2.0, 2.66, 6.16 และ 10.24
ความสามารถในการละลายน้ำ	0.05 g/100 ml
ค่า chelation	3.39 m mol/g
จุดหลอมเหลว	240 องศาเซลเซียส

ที่มา : Chemicalland (2003)

2. โครงสร้างของ EDTA

EDTA คือ ตัวคีเลตติ้งเอเจนต์ และเป็นพอลิเดนเทตลิแกนด์มี 6 อะตอมที่สามารถจับอะตอมโลหะได้ในลักษณะคล้ายๆ กรงเล็บ คำว่า "chele" ในภาษากรีกแปลว่ากรงเล็บซึ่งทำให้เป็นคีเลตติ้งลิแกนด์ที่ดี และเป็นสารประเภท Tertiary amine ที่ประกอบด้วยหมู่ Carboxyl สามารถเกิดสารเชิงซ้อนแบบคีเลตที่เสถียรกับไอออนของโลหะหลายชนิด สูตรโครงสร้างของอีดีทีเอ เขียนดังรูปที่ 1 สารนี้ใช้เป็นลิแกนด์เมื่อจับโลหะในรูปของคีเลต เพื่อใช้ในการควบคุมการปนเปื้อนโลหะไอออนอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากธาตุทรานซิชันสามารถสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับกลุ่มของโมเลกุล หรือไอออนเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนหรือโมเลกุลที่มีความเสถียรสูง คือสามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะในรูปของคีเลต เพื่อใช้ในการควบคุมการปนเปื้อนโลหะไอออนอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากธาตุทรานซิชันสามารถสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับกลุ่มของโมเลกุล หรือไอออนเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนที่สามารถจับกับไอออนเกิดเป็นโมเลกุลเชิงซ้อนเรียกว่าสารประกอบโคออดิเนชัน ซึ่งโลหะไอออนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนคู่ และลิแกนด์ คือตัวคีเลตติ้งเอเจนต์เป็นอะตอมจ่าย จึงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมด้านการบำบัดน้ำเสียต่างๆ มากมาย



ภาพที่ 1 โครงสร้างของอีดีทีเอ

3. ความเป็นพิษของอีดีทีเอ

- มวลต่อโมล : 292.25

- ชื่ออื่น Ethyleneditrilotetraacetic acid Ethylenediaminetetraacetic acid ;

EDTA

- ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอันตราย : ระคายเคืองต่อตาเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ อาจ

มีผลเสียระยะยาวต่อสภาพแวดล้อมในน้ำ

ข้อมูลทางพิษวิทยา พิษเฉียบพลัน LD₅₀ (Oral, rat) : >2000 mg/kg

ข้อมูลเพิ่มเติมทางพิษวิทยา

เข้าตา : ระคายเคือง

กลิ่น : ไม่มีรายละเอียดของอาการพิษ ครอบคลุมของอิเล็กทรอนิกส์ในร่างกาย

- ข้อมูลเชิงนิเวศน์

- การย่อยสลายทางชีวภาพ : กำจัดได้เล็กน้อย (การลดลงของ DOC < 20%)

- ผลกระทบทางชีวภาพ : เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ อาจก่อให้เกิดผลเสียระยะยาวต่อระบบนิเวศน์ทางน้ำ

ความเป็นพิษต่อปลา : *L. macrochirus* LD₅₀, 120 mg/96h

S. gairdnerii LD₅₀: 340 mg/24h

L. idus LD₅₀ : 2,040 mg/l

ความเข้มข้นที่เป็นพิษสูงสุดที่ยอมรับได้ : *Ps.pudita* EC₅ : 105 mg/l

ความสามารถในการย่อยสลาย : BOD₅ 0.01 mg/l ห้ามทิ้งลงสู่ระบบน้ำ, น้ำเสีย หรือดิน

อดีทีเอไม่มีพิษร้ายแรงต่อมนุษย์ หากหายใจจาละอองหรือฝุ่นของอดีทีเอเข้าไปก็จะทำให้ไอและจาม การสัมผัสกับผิวหนังมีผลทำให้เพียงผิวหนังบริเวณที่สัมผัสแดงขึ้นเท่านั้น แต่ถ้าหากกินหรือว่ากลืนเข้าไปก็จะทำให้รู้สึกร้อนในกระเพาะและคลื่นไส้อาเจียน แต่หากได้รับในปริมาณที่มากอาจมีผลต่อไตได้ (National Institute for Occupational Safety and Health, 2002)

ตารางที่ 4 มาตรฐานระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอร์แลนด์

Metal	Soil (mg/kg dry weight)			Groundwater(µg/L)		
	A	B	C	A	B	C
Cadmium	0.4+0.007 (L+3H)*	5	20	1.5	2.5	10

L = เปอร์เซ็นต์ของอนุภาค Clay ; H = เปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์วัตถุในดิน

A = ปริมาณที่พบในดินทั่วไป (value "A" is the reference level)

B = ปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง (level "B" more detailed examination should be made)

C = ปริมาณที่เกิดมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (level "C" detailed examination should be undertaken with regard to redevelopment measures)

ที่มา : Allen et al .,(1994)

ตารางที่ 5 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

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

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2547)

ตารางที่ 6 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอื่นนอกเหนือจากการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and compounds)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ต้องไม่เกิน 810

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2547)

10. หลักการทำงานของอัลตราโซนิก

คลื่นเสียง คือคลื่นตามยาวซึ่งหูของคนปกติได้ยินโดยมีความถี่ตั้งแต่ประมาณ 20 ถึง 20,000 เฮิรท์ (Hz) จากการวัดคลื่นเสียงพบว่าการแปรผันของความดันมากที่สุดของเสียงดังที่สุดที่หูของคนเราจะทนได้ มีค่าเท่ากับ 28 Nm^{-2} โดยทั่วไปคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรท์ เรียกว่าคลื่นเหนือแสง (Ultrasonic waves) เช่นคลื่นที่เกิดจากการสั่นของผลึกควอตซ์ซึ่งเกิดขึ้นโดยการให้สนามไฟฟ้าสลับกับผลึก โดยทั่วไปหูของคนปกติไม่สามารถรับฟังคลื่นเสียงอัลตราโซนิกได้ (กิตติพงศ์, 2549)

การประยุกต์ใช้กระบวนการ Ultrasonic processing ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนจะใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงปล่อยลงในของเหลวทำให้เกิดการผสมและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และฟิสิกส์ (Hwang et al., 2007)

ทำการสกัดดินที่ปนเปื้อนด้วยคลื่นเสียงที่ระดับ 20 kHz ใช้กำลังไฟระหว่าง 0~100 W. (10 – 40 W. จะทำการทดลองที่ 12 นาที) (Hwang et al., 2007)

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.1) เครื่องมือวิทยาศาสตร์

1. Atomic Absorption Spectrophotometer (Model Hitachi Z8200)
2. Distillation apparatus (Gerhardt Model Vapodest 2)
3. EC meter (Model HI 8733)
4. pH meter (Model HI 9025)
5. Sieving shaker (Model Dik – 2150 NO.1203)
6. เครื่อง Ultrasonic processing (SONOPULS : Model HD 2070)
7. เครื่องเขย่า (Shaker NO.8315)
8. เครื่องชั่ง (DENVER INSTRUMENT TB-214, TB-2002)

1.2) เครื่องแก้วและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ต่างๆ

1. Beaker
2. Cylinder
3. Digestion apparatus
4. Digestion tube
5. Erlenmeyer flask
6. Leaching tube
7. Marker
8. Pipet
9. Test tube
10. Reagent vessel
11. Volumetric flask
12. Volumetric pipet
13. กระดาษกรองเบอร์ 2, 5, 42

14. กรวยกรอง
15. ถุงพลาสติก
16. แท่งแก้วคน
17. หลอดCentrifuge ขนาด 50 มล.
18. หลอดหยด
19. และอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการอื่นๆ

1.3) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

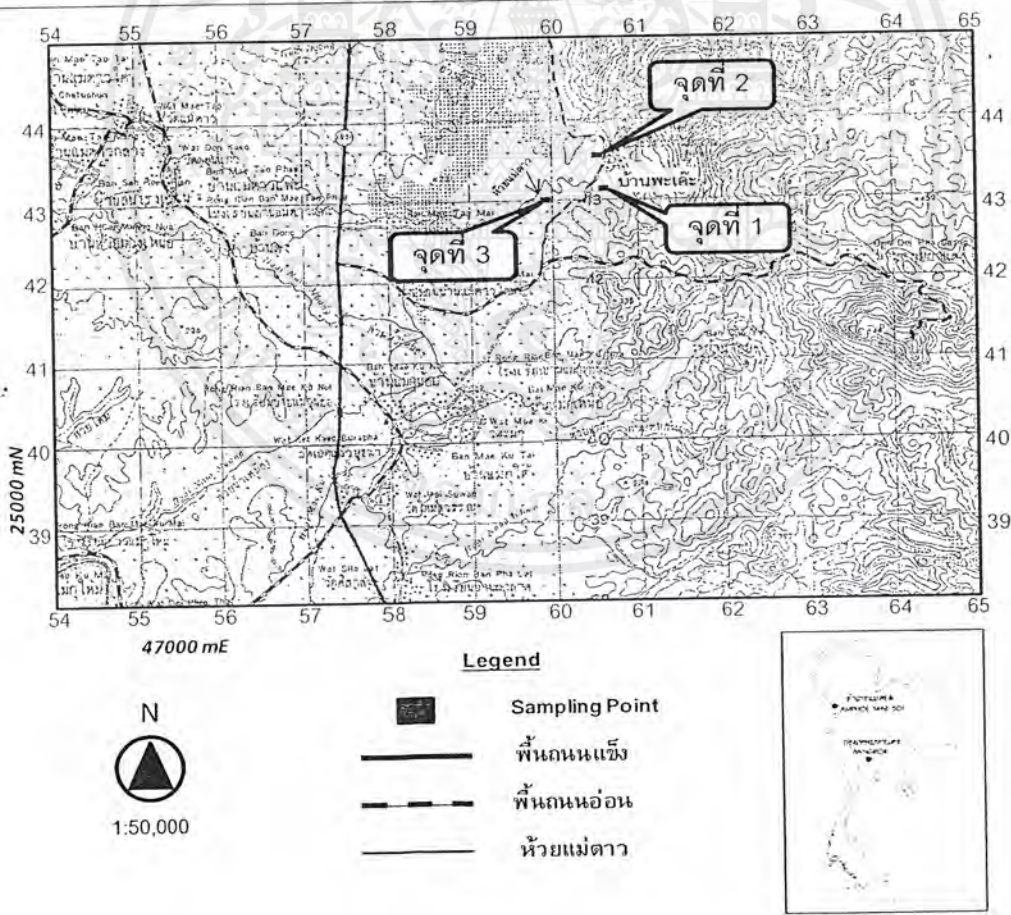
1. Acidified sodium chloride
2. Ammonium acetate
3. Ascorbic acid
4. Boric acid – indicator solution
5. Bromocresol green
6. Buffer pH4 ,pH7
7. Calcium Chloride
8. Ethyl alcohol
9. Ferrous sulfate
10. Methyl red
11. Mixed acid ($\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4$)
12. O-phenanthroline indicator
13. Potassium dichromate
14. Sodium chloride
15. Sodium hydroxide
16. Standard solution (Cd, K, Na, Ca, Mg, Pb)
17. Sulfuric acid
18. น้ำกลั่น

2. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลองกับดินบริเวณบ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ทำการเก็บตัวอย่างดิน 3 จุด ซึ่งมีการปนเปื้อนแคดเมียมในปริมาณที่ต่างกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7 และภาพที่ 2

ตารางที่ 7 แสดงจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างดิน และพิกัด

จุดที่	รายละเอียด	พิกัด	
		Latitude(N)	Longitude(E)
1	แปลงนา (ติดลำห้วยแม่ดาว)	1843557	0460144
2	หมู่บ้าน(ติดหมู่บ้านพะเด๊ะ)	1843716	0460199
3	แปลงข้าวโพด(จุดอ้างอิง-ห่างจากลำห้วยแม่ดาวประมาณ 100 เมตร)	1843458	0459647



ภาพที่2 แผนที่แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน

ที่มา : กรมแผนที่ทหาร (2522)

3. วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดิน โดยขุดดินแล้วเก็บตัวอย่างดินประมาณ 50 กก. โดยเก็บที่ระดับความลึก 0-15 ซม. จำนวน 3 จุด ซึ่งจะนำมาทดสอบการบำบัดดินโดยเก็บจุดละ 100 กิโลกรัม แบ่งเป็น 0-15 ซม. 50 กิโลกรัม. 15-30 ซม. 50 กิโลกรัม สำหรับดินตามระดับความลึกเก็บดินโดยการเจาะดิน 5 ระดับ คือ 0-15 ซม. 15-30 ซม. 30-50 ซม. 50-70 ซม. 70-100 ซม. โดยจะเก็บดิน 1 กิโลกรัมในแต่ละระดับความลึก นำมาวิเคราะห์หาสมบัติของดินและหาการสะสมแคดเมียมในดิน

4. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินมาตากในที่ร่ม (air dry) บดด้วยโกร่งบดดินและร่อนเพื่อแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร หลังจากนั้นทำการร่อนผ่านตระแกรงด้วย Sieving shaker (Model Dik -2150 NO.1203) เพื่อแยกขนาดอนุภาคดินเป็น 5 ขนาดดังนี้

1. <2.00 มิลลิเมตร
2. 1.00-2.00 มิลลิเมตร
3. 0.5-1.00 มิลลิเมตร
4. 0.25-0.50 มิลลิเมตร
5. 0.106-0.25 มิลลิเมตร
6. <0.106 มิลลิเมตร

5. ขั้นตอนการวิเคราะห์

5.1 วิเคราะห์คุณสมบัติเคมีเบื้องต้นของดิน

1) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ใช้อัตราส่วน ดิน: น้ำ เท่ากับ 1:1 โดยทำการชั่งดินมา 20 กรัม บรรจุในกระป๋องพลาสติกเติมน้ำกลั่นลงไป 20 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Shaker NO.8315) ให้ความเร็วที่ 180 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ทำการวัดสละลายที่ได้ด้วยเครื่อง pH meter Model HI 9025

2) การนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity) ใช้อัตราส่วน ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:5 โดยทำการชั่งดิน 20 กรัม บรรจุในกระป๋องพลาสติกเติมน้ำกลั่นลงไป 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วย

เครื่อง (Sheker NO.8315) ใช้ความเร็ว 180 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ทำการวัดสารละลายที่ได้ด้วยเครื่อง EC meter Model HI 8733

3) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic matter) โดยใช้วิธี wet oxidation (Walkley and Black, 1934) โดยออกซิไดซ์ดินด้วย Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) และกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น แล้วหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยการไทเทรตกับสารละลาย Ferrous sulfate ($FeSO_4$) นำค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ได้คูณด้วย 1.724

4) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ชั่งดินประมาณ 1-2 กรัม บรรจุดินใน leaching tube ที่รองก้นด้วย filter pulp (กระดาษกรองชิ้นเล็กๆ ต้มในน้ำเดือดจนยุ่ย) แล้วชะดินด้วยสารละลาย NH_4OAc pH 7.0 ปริมาณ 100 มิลลิลิตร จนดินอิ่มตัวด้วย NH_4^+ (saturation) ล้าง NH_4OAc ที่เกินด้วย ethyl alcohol ปริมาณ 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปกลั่นด้วย NaOH โดยใช้ H_3BO_3 จับปริมาณ NH_4^+ จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับ H_3SO_4 จนสารละลายเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นสีม่วงแดง นำค่าที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณหาค่า CEC

5) เบลที่แลกเปลี่ยนได้ (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) สกัดดินด้วย NH_4OAc pH 7.0 นำสารละลายที่ได้ไปวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Model Hitachi Z8200) สำหรับแคดเมียม แมกนีเซียม เติมนิโตรเจน chloride (ซึ่ง $SrCl_2$ 72 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรใน Volumetric flask 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้ในปริมาณ 25% ของปริมาตรสุดท้าย) แล้วนำไปเทียบความเข้มข้นกับ standard solution

6) การเตรียม Standard solution (Cd, K, Na, Mg, Pb)

การเตรียม standard solution K ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm. จาก stock standard solution 100 ppm. โดยการดูด stock standard มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในแต่ละ volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตร

การเตรียม standard solution Na ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ppm. จาก stock standard solution 50 ppm. โดยการดูด stock standard มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในแต่ละ volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตร

การเตรียม standard solution Ca ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm. จาก stock standard solution 50 ppm. โดยการดูด stock standard มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในแต่ละ volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร และใส่ SrCl_2 12.5 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตร

การเตรียม standard solution Mg ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 ppm. จาก stock standard solution 100 ppm. โดยการดูด stock standard มา 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 และ 7.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในแต่ละ volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตร

การเตรียม standard solution Cd ที่ความเข้มข้น 0., 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ppm. จาก stock standard solution 1,000 ppm. โดยการดูด stock standard มา 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 500 มิลลิลิตร จะได้ standard solution 100 ppm. และดูด standard solution 100 ppm. มา 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในแต่ละ volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตร

5.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของดิน

ในการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคดิน จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Pipette method

- (1) ชั่งตัวอย่างดินมา 10 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร (ตัวอย่างละ 2 ข้ว) เติมน้ำไฮโรเจนเปอร์ออกไซด์ 5-10 มิลลิลิตร นำไปเร่งปฏิกิริยาบนเตา (hot plate)
- (2) ดินที่ได้จากข้อ 1 ซึ่งมีตัวอย่างดินตัวอย่างละ 2 บีกเกอร์ นำดินบีกเกอร์หนึ่งไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ นำไปใช้ในการคำนวณ
- (3) นำดินอีกบีกเกอร์หนึ่งมาเติม calgon จำนวน 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที นำไปกวนด้วยเครื่องกวน (mechanical stirrer) 5 นาที
- (4) เทส่วนผสมของดินและน้ำจากข้อ 3 ลงในกระบอกตวง ขนาด 1,000 มิลลิลิตร โดยเทผ่านตะแกรงร่อนขนาด 300 เมช (Mesh) สิ่งที่ตกค้างอยู่บนตะแกรงคืออนุภาคแป้งและอนุภาคทราย นำไปใส่ภาชนะอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสหรือน้ำหนักคงที่

(5) ส่วนที่ผ่านตะแกรงลงไปในระบบบอกตวงคือ อนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียว ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร ทั้งสารแขวนลอยให้คงที่เท่ากับอนุภาคน้ำจากนั้น คนด้วย plunger ให้ทั่วแล้วจับเวลา

(6) ดูดสารแขวนลอยในระบบบอกตวงโดยใช้ Pipette apparatus (จะเป็นอนุภาคดินเหนียว) เวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับอนุภาคน้ำ และความลึกซึ่งจะเป็นไปตาม Stokes' law นำไปอบน้ำหนักคงที่แล้วชั่งหาน้ำหนัก

5.3 วิเคราะห์หาปริมาณ Total Cd ในการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนทั้งหมดในดิน วิเคราะห์ได้โดยใช้กรดไนตริกและกรดเปอร์คลอริกด้วยวิธี Wet digestion ดังแดงในภาพที่2

(1) ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ลงในหลอด digest tube

(2) เติมกรดผสมระหว่างกรดไนตริกกับกรดเปอร์คลอริกในสัดส่วน 3:1, HNO_3^+ , HClO_4 ในปริมาณ 10 มิลลิลิตร

(3) นำไปตั้งบนเตา digest โดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 30 นาที เพิ่มเป็น 100 องศาเซลเซียส อีก 30 นาที และเพิ่มเป็น 130 องศาเซลเซียส 30 นาที สุดท้ายเพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาจนกว่าสารละลายเกือบแห้ง ดินจะมีสีซีดจนเป็นสีขาวและมีควันหรือไอสีขาวขึ้นจะถือว่า digest เสร็จสมบูรณ์

(4) หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

(5) นำไปวัดปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)



ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน

6. การเตรียมน้ำยาสกัด EDTA เพื่อศึกษาความถี่ในการใช้ Ultrasonic ร่วมกับเทคนิคการล้างดิน (Soil Washing)

นำค่า Total Cd ที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณหาปริมาณสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA : Cd ที่สัดส่วนต่าง ๆ กันดังนี้ (2:1), (5:1), (10:1), (25:1) นำ g. EDTA ที่ได้มาละลายน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 400 มล. เพื่อใช้เป็นน้ำยาสกัดแคดเมียมออกจากดิน ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 3

$$\text{g. EDTA} = \frac{\text{Mole Cd} \times B \times C \times 372.24}{1000}$$

ภาพที่ 4 แสดงวิธีการคำนวณการเตรียมน้ำยาสกัด EDTA

$$\begin{aligned} \text{Mole Cd} &= \frac{A}{112400} \\ A &= \text{ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน (mg/kg)} \\ B &= \text{mole ของ EDTA : Cd} \\ C &= \text{aliquot ของ EDTA ที่ใช้ในการสกัดแคดเมียม (มล.)} \\ 3724.24 &= \text{มวลโมเลกุลของ EDTA(g)} \end{aligned}$$

7. การศึกษาความถี่ของ Ultrasonic ที่เหมาะสมในการสกัด Cd ออกจากดิน

การศึกษาความถี่เวลาที่เหมาะสม จากผลที่ได้จากการทดลองสัดส่วนที่เหมาะสมของ EDTA โดยใช้สัดส่วนระหว่างดิน : น้ำยาสกัด คือ 1:2, 1:5 mole แล้วนำมาศึกษาความถี่ที่เหมาะสมในการทดลองสกัดแคดเมียมออกจากดินที่มีการปนเปื้อนโดยทำการทดลองดังต่อไปนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 4) (ได้จากผลการทดลองการศึกษหาเวลาที่เหมาะสมในการสกัด Cd ออกจากดิน)

- 1) ชั่งดินมา 5 หรือ 6 กรัม แล้วใส่ดินลงในหลอดเซนติฟิวส์
- 2) เติมน้ำยาสกัด EDTA ความเข้มข้น 2:1 mole : Cd ตามสัดส่วนที่เหมาะสมของ

Liquid/Solid (L/S) ratio ลงไป 30 มิลลิลิตร

- 3) นำไปเขย่าโดยใช้เครื่องเขย่า 1 ชั่วโมง

4) นำเข้าเครื่อง Ultrasonic

(4.1) ในกรณีไม่ใช้เครื่อง (Ultrasonic 0%)

(1) หลังจากเขย่าแล้วกรองตัวอย่างดินด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

(2) วัดค่าปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ด้วยเครื่อง Atomic Absorption

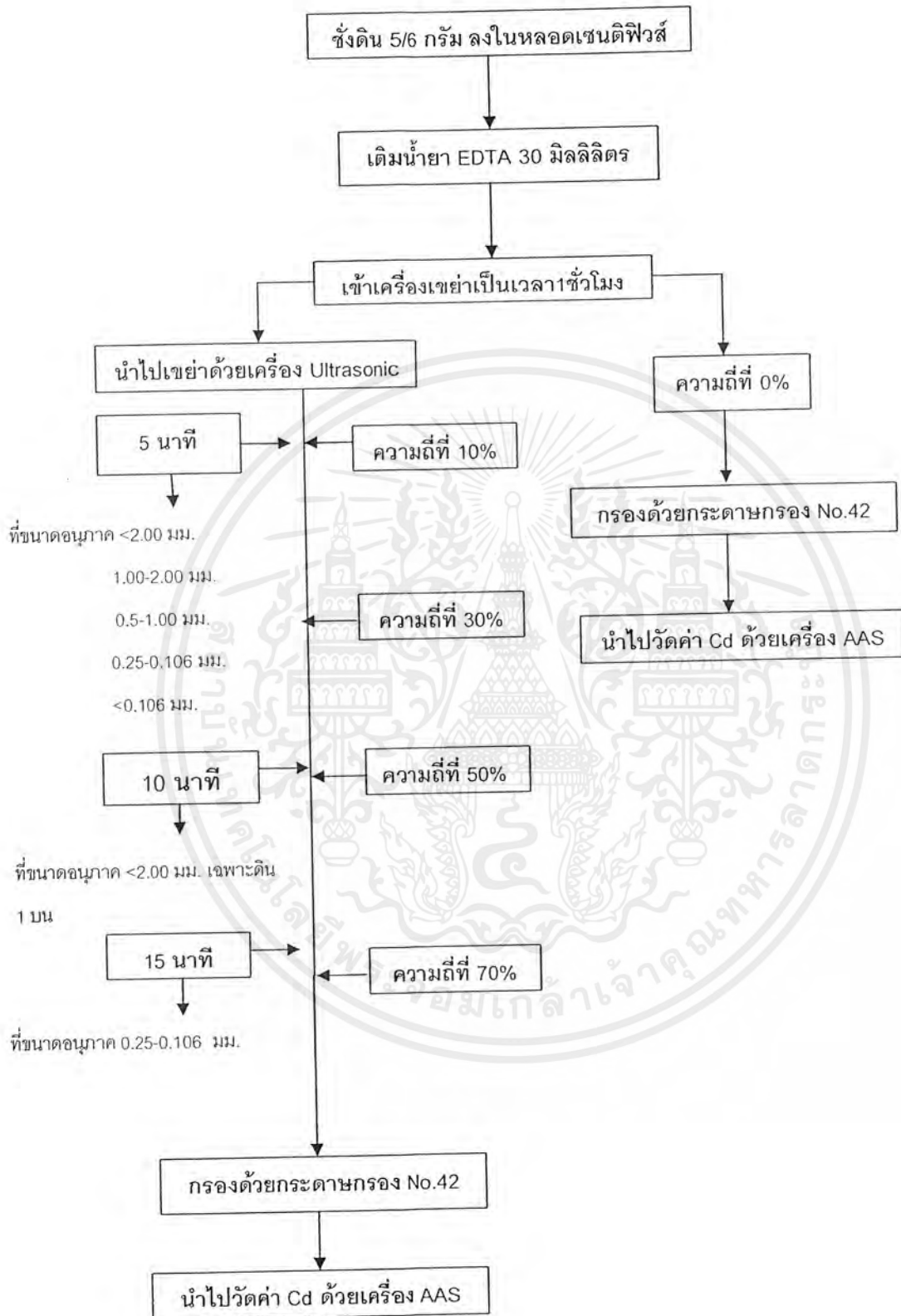
(4.2) ศึกษาการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 10%, 30%, 50%, 70%

(1) เขย่าโดยใช้เครื่อง Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 10%, 30%, 50%, 70% โดยใช้เวลาที่เหมาะสม (5 นาที, 10 นาที, 15 นาที) (ได้จากผลการทดลองการศึกษหาเวลาที่เหมาะสมในการสกัด Cd ออกจากดิน)

(2) กรองตัวอย่างดินด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

(3) วัดค่าปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ด้วยเครื่อง Atomic Absorption

Spectrophotometer (AAS)



ภาพที่ 5 แสดงขั้นตอนการศึกษาค่าความถี่ที่เหมาะสม

8. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS 16.0 ปฏิบัติการบน Windows XP

ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's Multiple's Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) Version 16.0 ปฏิบัติการบน Windows XP



ผลการทดลอง

1. สัดส่วนของอนุภาคดินขนาดต่างๆในตัวอย่างดิน

1) ดินจุดที่ 1

ในดินบน (0-15 ซม) ดินที่ผ่านการแยกอนุภาค แยกอนุภาคได้เป็น 5 อนุภาค ซึ่งอนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดคือ อนุภาค 0.106-0.5 มิลลิเมตร (33%) ส่วนในดินล่าง อนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดคือ อนุภาค <0.106 มิลลิเมตร (29%) ดังในตารางที่ 8 และภาพที่ 7

2) ดินจุดที่ 2

ในดินบน (0-15 ซม) ดินที่ผ่านการแยกอนุภาค แยกอนุภาคได้เป็น 5 อนุภาค ซึ่งอนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดคือ อนุภาค 0.106-0.5 มิลลิเมตร (38%) ส่วนในดินล่าง อนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดคือ อนุภาค 0.106-0.5 มิลลิเมตร (36%) ดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 9

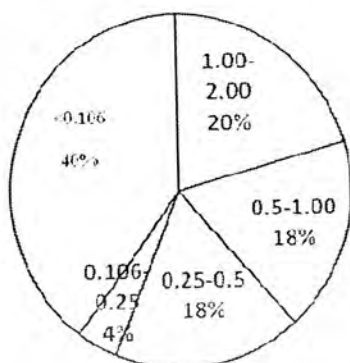
3) ดินจุดที่ 3

ในดินบน (0-15 ซม) ดินที่ผ่านการแยกอนุภาค แยกอนุภาคได้เป็น 5 อนุภาค ซึ่งอนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดคือ อนุภาค 0.5-0.106 มิลลิเมตร (38%) ส่วนในดินล่าง อนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดคือ อนุภาค 0.5-0.106 มิลลิเมตร (36%) ดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 11

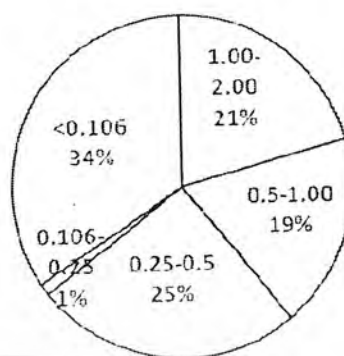
ตารางที่ 8 ปริมาณอนุภาคดินที่ผ่านการแยกอนุภาค

ความลึก	อนุภาค	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3
0-15	2.00-1.00	20%	15%	20%
	0.5-1.00	18%	15%	13%
	0.25-0.5	18%	26%	13%
	0.106-0.5	4%	1%	14%
	<0.106	40%	43%	40%
15-30	2.00-1.00	21%	13%	18%
	0.5-1.00	19%	14%	13%
	0.25-0.5	25%	21%	38%
	0.106-0.5	1%	4%	1%
	<0.106	34%	48%	30%

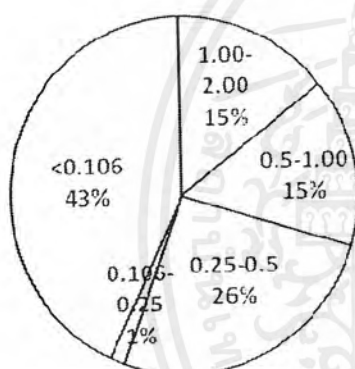
จุดที่ 1 ดินบน (0-15 ซม.)



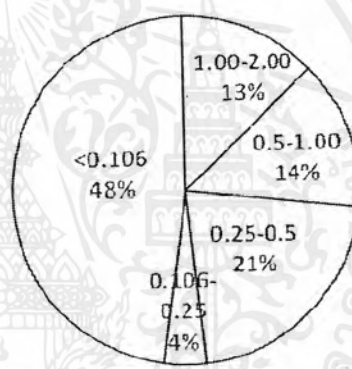
จุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 ซม.)



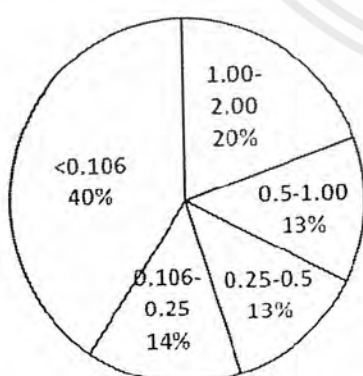
จุดที่ 2 ดินบน (0-15 ซม.)



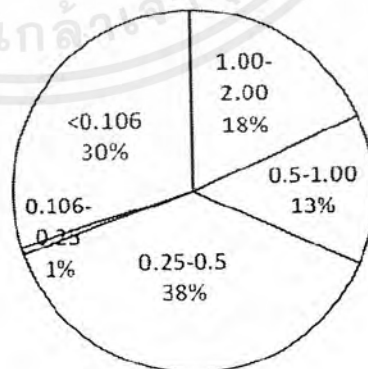
จุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 ซม.)



จุดที่ 3 ดินบน (0-15 ซม.)



จุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 ซม.)



ภาพที่ 6 ปริมาณอนุภาคดินแยกขนาดตามขนาดอนุภาค

2. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

2.1) จุดที่ 1 ทั้งดินบนและดินล่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง (pH 7.41–7.69) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ถือได้ว่าไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) มีค่าค่อนข้างสูงถึงสูงมาก (2.00–9.65%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูง (12.79–21.50 me/100g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (0.52–3.37 me/100g soil) ส่วน K มีค่าอยู่ช่วงต่ำมากถึงปานกลาง (0.18 – 0.48 me/100g soil) และ Na มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (0.46–11.27 me/100g soil) ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงจุดสูงมาก (53–267) ดังแสดงในตารางที่ 7

2.2) จุดที่ 2 ทั้งดินบนและดินล่างมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในด่างเล็กน้อย (pH 7.75–7.88) ใกล้เคียงกับจุดที่ 1 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ถือได้ว่าไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) มีค่าต่ำถึงค่อนข้างสูง (0.84–3.07%) ซึ่งต่ำกว่าจุดที่ 1 และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (1.89–9.35 me/100g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (6.06–49.55 me/100g soil) ในส่วนของ Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลาง (0.33–1.74 me/100g soil) ส่วน K มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงต่ำ (0.05–0.20 me/100g soil) และ Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก (0.13 – 3.60 me/100g soil) ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าอยู่ในช่วงสูงมาก (101–873) ดังแสดงในตารางที่ 8

2.3) จุดที่ 3 พบว่าทั้งดินบนและดินล่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง (pH 6.53–6.95) ซึ่งต่ำกว่า 2 จุดที่ผ่านมาเล็กน้อย ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ถือได้ว่าไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) มีค่าค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง (1.24–2.64%) ใกล้เคียงกับจุดที่ 2 แต่ต่ำกว่าจุดที่ 1 และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง (8.63–14.28 me/100g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง (1.29–8.37 me/100g soil) ในส่วนของ Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำกว่ามากถึงปานกลาง (0.01–2.10 me/100g soil) ส่วน K มีค่าอยู่ช่วงต่ำมากถึงต่ำ (0.07–0.24 me/100g soil) และ Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก (0.26–25.04 me/100g soil) ค่า

ร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก (22.05–197)
ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 1

Dept (cm)	อนุภาค (mm.)	pH ดิน: น้ำ 1:01	EC (μ S)/cm.	% OM	Exchangeable base (me/100 g. soil)				% BS	CEC me/100g.soil	Total Cd (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na			
0 - 15	<2.00	7.57	139	3.23	42.76	3.37	0.28	0.66	267.79	17.58	32.5
	2.00-1.00	7.41	195	6.48	14.74	0.91	0.45	0.48	79.33	20.9	85.45
	0.5-1.00	7.61	184	7.04	16.06	0.77	0.42	0.5	95.88	18.51	71.19
	0.25-0.5	7.56	197	7.98	18.77	0.89	0.48	0.49	95.90	21.5	75.27
	0.106-0.5	7.52	193	7.65	23.57	1	0.35	11.27	183.87	19.68	66.97
	<0.106	7.59	168	9.65	11.02	0.52	0.34	0.61	79.42	15.73	65
15 - 30	<2.00	7.51	102	2	14.91	2.45	0.08	0.72	136.73	13.28	37.52
	2.00-1.00	7.63	124	3.76	6.79	0.52	0.26	0.53	53.00	15.3	139
	0.5-1.00	7.63	130	3.98	10.84	0.98	0.28	0.46	73.79	17.02	142
	0.25-0.5	7.64	135	4.46	9.79	0.69	0.29	0.53	64.66	17.46	161
	0.106-0.5	7.61	119	3.32	8.64	1.1	0.26	0.5	77.10	13.63	128
	<0.106	7.69	124	3.13	12.07	2.21	0.18	0.35	115.82	12.79	137

ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 2

Dept (cm)	อนุภาค (mm.)	pH ดิน: น้ำ 1:01	EC (μ S)/cm.	% OM	Exchangeable base (me/100 g. soil)				% BS	CEC me/100g.soil	Total Cd (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na			
0 - 15	<2.00	7.57	139	3.23	42.76	3.37	0.28	0.66	267.79	17.58	32.5
	2.00-1.00	7.41	195	6.48	14.74	0.91	0.45	0.48	79.33	20.9	85.45
	0.5-1.00	7.61	184	7.04	16.06	0.77	0.42	0.5	95.88	18.51	71.19
	0.25-0.5	7.56	197	7.98	18.77	0.89	0.48	0.49	95.90	21.5	75.27
	0.106-0.5	7.52	193	7.65	23.57	1	0.35	11.27	183.87	19.68	66.97
	<0.106	7.59	168	9.65	11.02	0.52	0.34	0.61	79.42	15.73	65
15 - 30	<2.00	7.51	102	2	14.91	2.45	0.08	0.72	136.73	13.28	37.52
	2.00-1.00	7.63	124	3.76	6.79	0.52	0.26	0.53	53.00	15.3	139
	0.5-1.00	7.63	130	3.98	10.84	0.98	0.28	0.46	73.79	17.02	142
	0.25-0.5	7.64	135	4.46	9.79	0.69	0.29	0.53	64.66	17.46	161
	0.106-0.5	7.61	119	3.32	8.64	1.1	0.26	0.5	77.10	13.63	128
	<0.106	7.69	124	3.13	12.07	2.21	0.18	0.35	115.82	12.79	137

ตารางที่ 11 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 3

Dept (cm)	ขนาด (mm.)	pH ดิน: น้ำ 1:01	EC (μ S)/cm.	% OM	Exchangeable base (me/100 g. soil)				% BS	CEC me/100g soil	Total Cd (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na			
0 - 15	<2.00	7.57	139	3.23	42.76	3.37	0.28	0.66	267.79	17.58	32.5
	2.00-1.00	7.41	195	6.48	14.74	0.91	0.45	0.48	79.33	20.9	85.45
	0.5-1.00	7.61	184	7.04	16.06	0.77	0.42	0.5	95.88	18.51	71.19
	0.25-0.5	7.56	197	7.98	18.77	0.89	0.48	0.49	95.90	21.5	75.27
	0.106-0.5	7.52	193	7.65	23.57	1	0.35	11.27	183.87	19.68	66.97
	<0.106	7.59	168	9.65	11.02	0.52	0.34	0.61	79.42	15.73	65
15- 30	<2.00	7.51	102	2	14.91	2.45	0.08	0.72	136.73	13.28	37.52
	2.00-1.00	7.63	124	3.76	6.79	0.52	0.26	0.53	53.00	15.3	139
	0.5-1.00	7.63	130	3.98	10.84	0.98	0.28	0.46	73.79	17.02	142
	0.25-0.5	7.64	135	4.46	9.79	0.69	0.29	0.53	64.66	17.46	161
	0.106-0.5	7.61	119	3.32	8.64	1.1	0.26	0.5	77.10	13.63	128
	<0.106	7.69	124	3.13	12.07	2.21	0.18	0.35	115.82	12.79	137

3. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ แสดงให้เห็นว่าดินจุดที่ 1 ความลึก 1 -15 ซม. 50-70 ซม. เป็นดินร่วนปนทรายแป้ง ที่ระดับความลึก 15 - 30 ซม. เป็นดินทราย ส่วนความลึก 30-50 ซม. และ 70-100 ซม. เป็นดินร่วนเหนียว ส่วนดินจุดที่ 2 ดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย ยกเว้นดินที่ระดับความลึกที่ 50-70 ซม. เป็นดินร่วน และดินจุดที่ 3 ส่วนใหญ่เป็นดินร่วน ยกเว้นที่ระดับความลึก 70-100 ซม. เป็นดินร่วนปนทราย ในตัวอย่างดินทั้ง 3 จุด ส่วนใหญ่จะเป็นดินร่วน ในส่วนความหนาแน่นรวมพบว่าดินจุดที่ 1 มีความหนาแน่นรวม 1.03 g/cm^3 และค่า % moisture 95.44% สูงกว่าดินจุดอื่นๆ เพราะว่าในดินจุดที่ 1 นั้นเป็นดินนา ซึ่งดินนานั้นจัดเป็นดินเหนียวมีช่องว่างน้อยและมีน้ำท่วมตลอดเวลา มีการไถพรวนจึงมีความหนาแน่นมาก ดังแสดงในตารางที่

10

4. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน

ปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในดินจุดที่ 1 ที่ติดกับแปลงนาและติดกับลำห้วยแม่ตาบามีปริมาณมีปริมาณแคดเมียมสูงสุด คือ 161 mg/kg^{-3} และในดินจุดที่ 2 มีปริมาณแคดเมียมในดินเท่ากับ 95.0 mg/kg^{-3} ในขณะที่ดินจุดที่ 3 มีปริมาณแคดเมียมในดินเท่ากับ 4.36 mg/kg^{-3} จะเห็นได้ว่า

ในดินจุดที่ 1 และจุดที่ 2 มีปริมาณแคดเมียมในดินมากกว่าดินจุดที่ 3 ถึง 37 เท่า และ 22 เท่า ตามลำดับ อาจเป็นเพราะดินอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำแม่ตาวที่ไหลลงมาผ่านเหมืองผาแดงมีตะกอนทับถมมากและมักจะพบค่าแคดเมียมในดินล่าง 15 – 30 ซม. มีปริมาณแคดเมียมมากกว่าในดินบน แสดงให้เห็นถึงการสะสมของแคดเมียมมาเป็นเวลานานไหลลงสู่ดินล่าง และในดินจุดที่ 3 ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงนั้นมีปริมาณแคดเมียมน้อยกว่าดินจุดอื่นๆแต่ปริมาณแคดเมียมที่พบก็มีปริมาณมากพอที่ควรเฝ้าระวังซึ่งจะเห็นได้ว่าในดินจุดที่ 1 และดินจุดที่ 2 มีระดับแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัดตามมาตรฐานระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอร์แลนด์ (200 mg/kg^{-3})



ตารางที่ 12 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

Soil	Dept (cm)	Bulk density	% Moisture	Particle Size			Textu re Class
		(g/cm³)		Distribution (%)			
				Sand	Silt	Clay	
Soil – 1	0 – 15	1.03	95.44	21.62	56.00	22.42	SiL
	15 – 30	1.24	63.09	89.14	6.44	4.42	S
	30 – 50	-	-	27.85	39.55	32.60	CL
	50 – 70	-	-	26.37	48.17	25.46	SiL
	70 - 100	-	-	25.02	35.56	39.42	CL
Soil - 2	0 – 15	1.34	72.76	53.80	34.47	11.77	SL
	15 – 30	1.51	56.43	67.29	22.82	9.89	SL
	30 – 50	-	-	51.24	36.33	12.40	SL
	50 – 70	-	-	41.39	33.73	24.87	L
	70 – 100	-	-	66.46	19.71	13.82	SL
Soil - 3	0 – 15	1.44	67.68	46.40	36.59	17.00	L
	15 – 30	1.60	58.31	47.53	35.54	16.93	L
	30 – 50	-	-	46.59	35.55	17.86	L
	50 – 70	-	-	43.11	36.91	19.99	L
	70 – 100	-	-	63.80	23.70	12.49	SL

หมายเหตุ : S = Sand, L = Loam, CL = Clay Loam, SL=Sandy Loam, SiL=Silty Loam

5. ผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินโดยใช้วิธีทีเอ (EDTA) เป็นน้ำยาสกัด

1) ดินจุดที่ 1 (ดินบริเวณแปลงนา ติดลำห้วยแม่ตา)

ดินบน (0-15 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 13 และภาพที่ 6 จากผลการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพในการสกัดกับความถี่ค่อนข้างแปรผันขึ้นอยู่กับอนุภาคดินแต่ละอนุภาค

1.11) อนุภาคขนาด <2.00 มิลลิเมตร พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด แคดเมียมออกจากดินได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด 11.34% รองลงมาคือการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 10% (1.85%)

1.12) อนุภาคดิน 1.00-2.00 มิลลิเมตร พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ได้ 19.55% รองลงมาคือที่ความถี่ที่ 50% (3.68%)

1.13) อนุภาคดิน 0.05-1.00 มิลลิเมตร ที่ความถี่ที่ 0% สามารถสกัด Cd ได้ 19.05% รองลงมาคือ 50% (5.95%)

1.14) อนุภาคดิน 0.25-0.5 มิลลิเมตร พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ได้ 21.81% รองลงมาคือ 50% (8.17%)

1.15) ขนาดอนุภาคดิน 0.106-0.25 มิลลิเมตร พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ได้ 25.77% รองลงมาคือ 50% (8.19%)

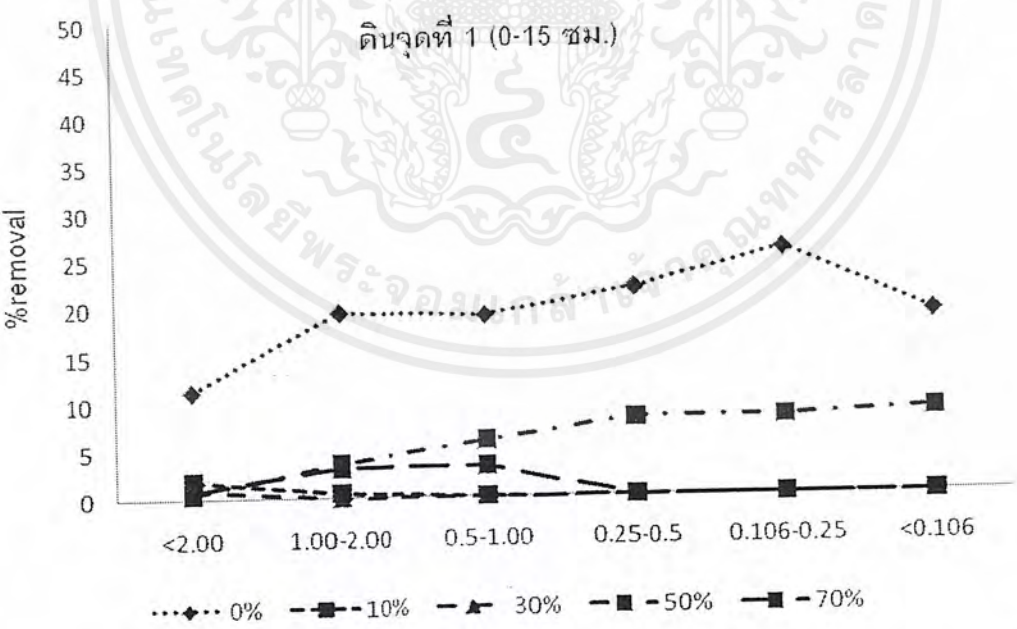
1.16) ขนาดอนุภาค <0.106 มิลลิเมตร พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic มีประสิทธิภาพในการสกัดที่ความถี่ที่ 0% สามารถสกัด Cd ได้ 19.02% รองลงมาคือ 50% (8.83%)

โดยสรุปพบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (ความถี่ที่ 0%) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด Cd ออกจากดินในทุกขนาดอนุภาค รองลงมาคือการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ 50% ส่วนการใช้ Ultrasonic 10% และ 70% มีประสิทธิภาพในการกำจัด Cd ได้ต่ำที่สุด

ตารางที่13 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 ดินปน (0-15 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดร่วมด้วยการใช้ Ultrasonic ในการศึกษาหาความถี่

Freequency	%Removal					
	ขนาดอนุภาค (mm.)					
	<2.00	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
0%	11.34a	19.55a	19.05a	21.81a	25.77a	19.02a
10%	1.85c	0.58bc	0.05c	0.05c	0.05c	0.05c
30%	0.94c	0.06c	0.05c	0.05c	0.05c	0.05c
50%	0.48c	3.68b	5.95b	8.17b	8.19b	8.83b
70%	0.81c	3.16bc	3.26c	0.05c	0.05c	0.05c

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินจุดที่ 1 ดินปน (0 – 15 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดร่วมด้วยการใช้ Ultrasonic ในการศึกษาหาความถี่

ดินล่าง (15-30 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 14 และภาพที่ 7 จากผลการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพในการสกัดกับความถี่ของแต่ละอนุภาค แปรผันเช่นเดียวกับดินบน

1.21) ขนาดอนุภาคดิน <2.00 มิลลิเมตร การไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 3.99% รองลงมาคือการใช้ Ultrasonic ที่ 70% (1.59%)

1.22) ขนาดอนุภาคดิน 1.00-2.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่(50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 7.42% รองลงมาคือ การไม่ใช้ Ultrasonic (0%) (3.54%)

1.23) ขนาดอนุภาค 0.5-1.00 มิลลิเมตร พบว่าการการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 11.54% รองลงมาคือ 50% (7.39%)

1.24) ขนาดอนุภาคขนาด 0.25-0.5 มิลลิเมตร พบว่าการการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 10.49% รองลงมาคือ 50% (4.75%)

1.25) ขนาดอนุภาคขนาด 0.106-0.25 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ (50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 9.68% ในขณะที่ความถี่ที่เหลือ (0%, 10%, 30%, 70%) ไม่มีความแตกต่างกันโดยสามารถสกัด Cd ออกมาได้ 0.08-0.29%

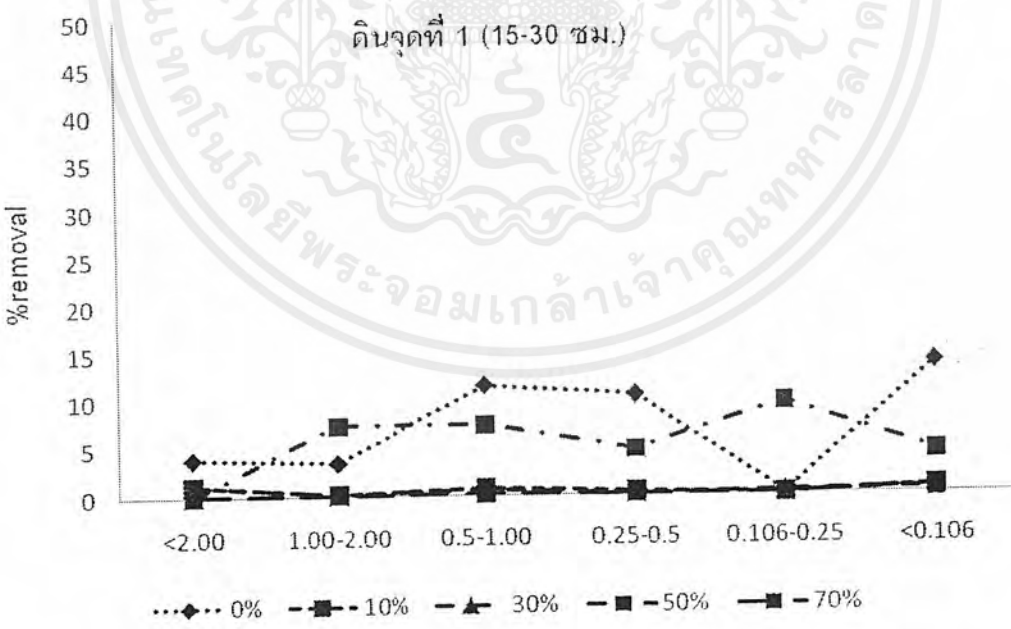
1.26) ขนาดอนุภาค <0.106 มิลลิเมตร พบว่าการการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 13.79% รองลงมาคือ 50% (0.76%)

โดยสรุปพบว่าการการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงสุดในการกำจัด Cd ออกจากดินในทุกขนาดอนุภาค ในขณะที่การใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ 50% สามารถสกัด Cd ออกจากดินขนาดอนุภาค 1.00-2.00 มิลลิเมตร ได้มากที่สุด

ตารางที่14 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ Ultrasonic ในการศึกษาหาความถี่

Freequency	%Removal					
	ขนาดอนุภาค (mm.)					
	<2.00	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
0%	3.99a	3.54b	11.54a	10.49a	0.09b	13.79a
10%	1.14b	0.22c	0.72c	0.38c	0.09b	0.73c
30%	1.14b	0.14d	0.58c	0.12c	0.29b	0.40c
50%	0.05c	7.42a	7.39b	4.75b	9.68a	4.44b
70%	1.59b	0.07c	0.16c	0.08c	0.08b	0.76c

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15 - 30 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ Ultrasonic ในการศึกษาหาความถี่

2) ดินจุดที่ 2 (ดินบริเวณหมู่บ้านพะเด๊ะ)

ดินปน (0-15 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 15 และภาพที่ 8

2.11) ขนาดอนุภาคขนาด <2.00 มิลลิเมตร การไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 6.20% ในขณะที่ที่ใช้ Ultrasonic ในทุกความถี่ไม่มีความแตกต่างกันโดยสามารถกำจัด Cd ออกได้ 0.05-0.42%

2.12) ขนาดอนุภาคดิน 1.00-2.00 มิลลิเมตร การไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 20.59% รองลงมาคือการใช้ Ultrasonic ที่ 50% (13.15%)

2.13) ขนาดอนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร การไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 14.38% รองลงมาคือการใช้ Ultrasonic ที่ 50% (12.49%)

2.14) ที่อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มิลลิเมตร พบว่า การใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ (50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 35.44% รองลงมาคือ 0% (20.15%)

2.15) ขนาดอนุภาคขนาด 0.25-0.106 มิลลิเมตร พบว่า การใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ (50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 31.70% รองลงมาคือ 0% (15.50%)

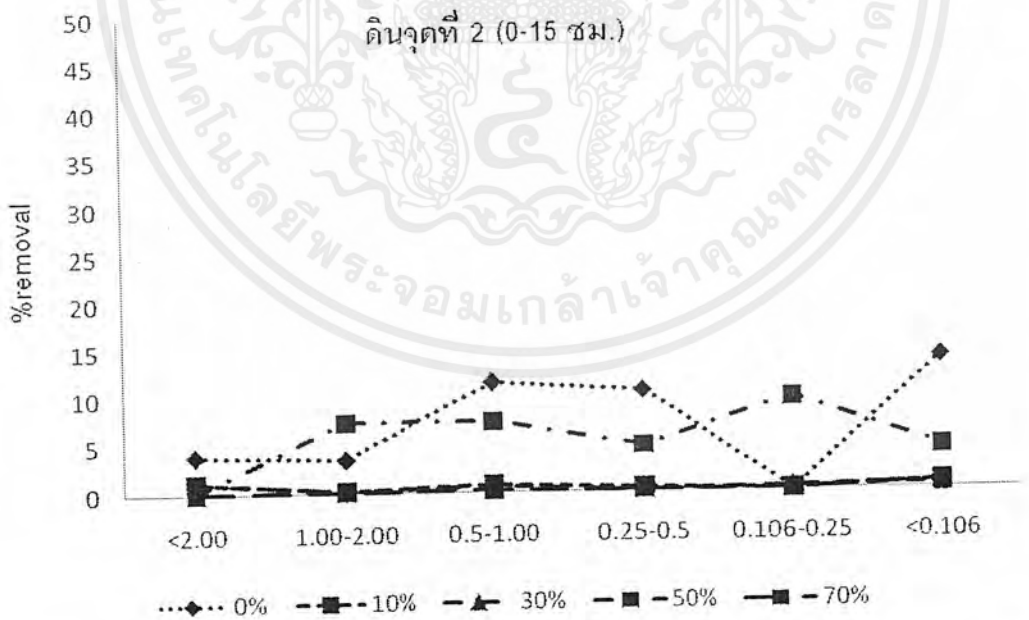
2.16) ขนาดอนุภาค <0.106 มิลลิเมตร การไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 10.02% รองลงมาคือการใช้ Ultrasonic ที่ 50% (6.62%)

โดยสรุปแล้วว่าการใช้น้ำยาสกัด EDTA ที่ไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการสกัด Cd สูงสุดที่ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร, 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.5-1.00 มิลลิเมตร และ <0.106 มิลลิเมตร ส่วนการใช้ Ultrasonic ความถี่ที่ 50% มีประสิทธิภาพในการสกัด Cd สูงสุดที่ขนาดอนุภาคดิน 0.25-0.5 มิลลิเมตร และ 0.106-0.25 มิลลิเมตร ส่วนการใช้ Ultrasonic ความถี่ที่ 30%, และ 70% มีประสิทธิภาพในการสกัด Cd ได้ต่ำที่สุด

ตารางที่ 15 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 ดินปน (0-15 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดร่วมด้วยการใช้ Ultrasonic ในการศึกษาหาความถี่

Freequency	%Removal					
	ขนาดอนุภาค (mm.)					
	<2.00	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
0%	6.20a	20.59a	14.38a	20.15b	15.50b	10.02a
10%	0.22b	0.34c	0.09d	0.55c	0.48d	0.61c
30%	0.42b	0.50c	0.55c	1.48c	1.46c	0.80c
50%	0.05b	13.15b	12.49b	35.44a	31.70a	6.62b
70%	0.05b	0.50c	0.05d	0.55c	0.56cd	0.70c

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินจุดที่ 2 ดินปน (0 – 15 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดร่วมด้วยการใช้ Ultrasonic ในการศึกษาหาความถี่

ดินล่าง (15-30 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 16 และภาพที่ 9 จากผลการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพในการสกัดกับความถี่ของแต่ละอนุภาคแปรผันเช่นเดียวกับดินบน

2.21) ขนาดอนุภาคที่ <2.00 มิลลิเมตร พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 1.79% รองลงมาคือการใช้ Ultrasonic ที่ 30% (0.68%)

2.22) ขนาดอนุภาคดินที่ 1.00-2.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่(50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 3.44% รองลงมาคือ 0% (2.71%)

2.23) ขนาดอนุภาคดินที่ 0.5-1.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่(50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 16.19% รองลงมาคือ 0% (2.15%)

2.24) ขนาดอนุภาคดินที่ 0.25-0.5 มิลลิเมตร พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการสกัด Cd เท่ากับการใช้ Ultrasonic ที่ 50% สามารถสกัด Cd ออกมาได้ 4.81% และ 4.56% ตามลำดับ

2.25) ขนาดอนุภาคดินที่ 0.106-0.25 พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ (50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 4.00% รองลงมาคือ 0% (1.38%)

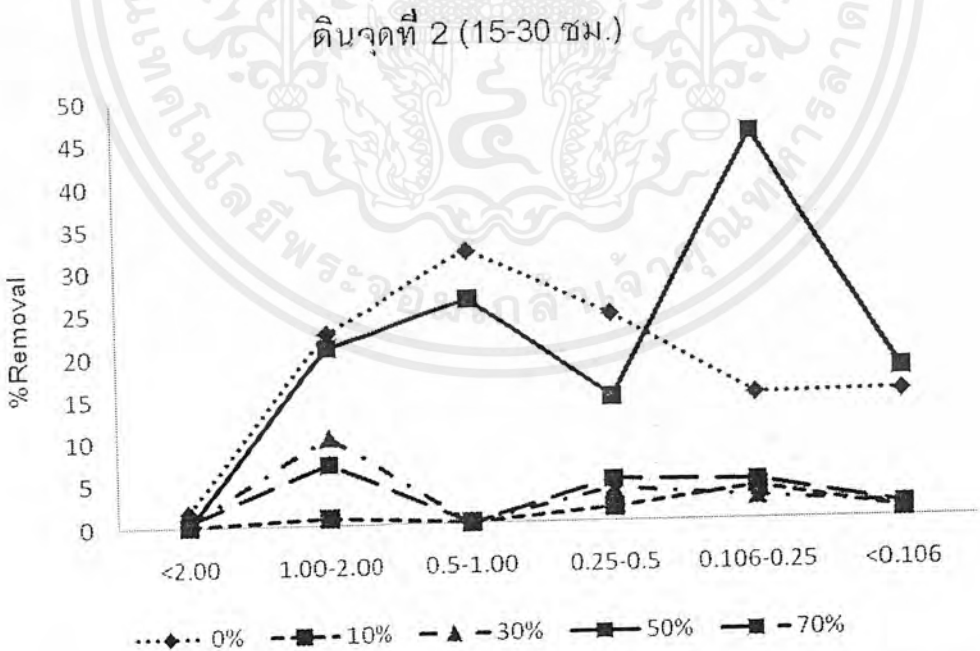
2.26) ขนาดอนุภาคดิน <0.106 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่(10%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 5.47% รองลงมาคือ 50% (4.39%)

โดยสรุปพบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงสุดในการสกัด Cd ออกจากดินที่ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร และ 0.25-0.5 ส่วนการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 50% มีประสิทธิภาพในการสกัด Cd สูงสุดที่ขนาดอนุภาคดิน 1.00-2.00 มิลลิเมตร ,0.5-0.25 มิลลิเมตร และ 0.106-0.25 มิลลิเมตร ส่วนการใช้ Ultrasonic ที่ 70% มีประสิทธิภาพในการสกัด Cd ได้ต่ำที่สุด

ตารางที่ 16 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ Ultrasonic ในการศึกษาหาความถี่

Freequency	%Removal					
	ขนาดอนุภาค (mm.)					
	<2.00	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
0%	1.79a	2.71b	2.15b	4.81a	1.38b	2.49c
10%	0.51c	0.20c	0.05c	1.77b	0.39c	5.47a
30%	0.68b	0.05c	0.05c	0.40c	0.37c	1.35d
50%	0.05d	3.44a	16.19a	4.56a	4.00a	4.39b
70%	0.47c	0.05c	0.05c	1.13bc	0.38c	0.80d

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15 - 30 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ Ultrasonic ในการศึกษาหาความถี่

3) ดินจุดที่3 (จุดอ้างอิง – ห่างจากลำห้วยแม่ดาวประมาณ 100 เมตร)

ดินปน (0-15 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 16 และภาพที่ 9

3.11) อนุภาคขนาด <2.00 มิลลิเมตร พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 1.79% รองลงมาคือการใช้ Ultrasonic ที่ 30% (0.68%)

3.12) ขนาดอนุภาค 1.00-2.00 มิลลิเมตร พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการสกัด Cd เท่ากับการใช้ Ultrasonic ที่ 50% สามารถสกัด Cd ออกมาได้ 22.54% และ 20.80% ตามลำดับ รองลงมาคือการใช้ Ultrasonic ความถี่ที่ 30% (10.29%)

3.13) ขนาดอนุภาค 0.5-1.00 มิลลิเมตร พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 32.04% รองลงมาคือการใช้ Ultrasonic ที่ 50% (26.31%)

3.14) ขนาดอนุภาค 0.25-0.5 มิลลิเมตร พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 24.34% รองลงมาคือการใช้ Ultrasonic ที่ 50% (14.06%)

3.15) ขนาดอนุภาค 0.106-0.25 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ (50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 45.48% รองลงมาคือ 0% (14.87%)

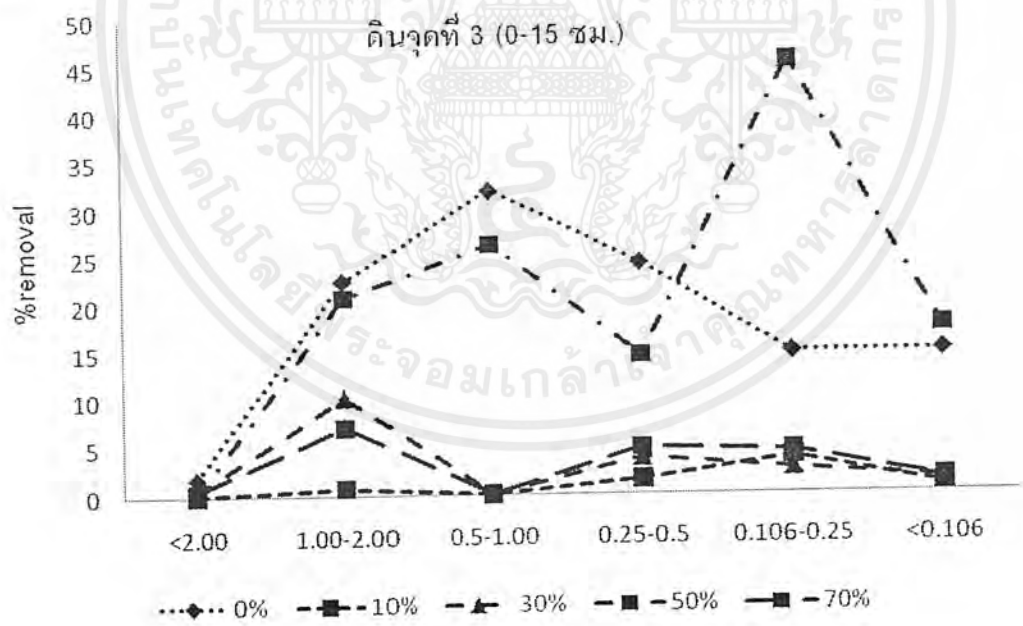
3.16) ขนาดอนุภาค <0.106 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ (50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 17.56% รองลงมาคือ 0% (14.90%)

โดยสรุปพบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุดในที่ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร, 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.5-1.00 มิลลิเมตร, และ 0.25-0.5 มิลลิเมตร ส่วนการใช้ Ultrasonic ความถี่ที่ 50% มีประสิทธิภาพในการสกัด Cd สูงสุดที่ขนาดอนุภาคดิน 0.106-0.25 มิลลิเมตร และ <0.106 มิลลิเมตร รองลงมาคือการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 30% (1.00-2.00 mm.), และ 50% (0.25-0.106 mm.) ประสิทธิภาพในการกำจัด Cd ออกมาไม่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 17 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 ดินปน (0-15 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดร่วมด้วยการใช้ Ultrasonic ในการศึกษาหาความถี่

Freequency	%Removal					
	ขนาดอนุภาค (mm.)					
	<2.00	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
0%	1.76a	22.54a	32.04a	24.34a	14.87b	14.90b
10%	0.05b	0.78d	0.05c	1.56d	3.89c	0.91d
30%	0.48b	10.29b	0.05c	3.79c	2.67d	1.60c
50%	0.05d	20.80a	26.31b	14.60b	45.48a	17.56a
70%	0.48b	7.15c	0.05c	4.91c	4.54c	1.60c

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 11 ประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินจุดที่ 3 ดินปน (0 – 15 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ Ultrasonic ในการศึกษาหาความถี่

ดินล่าง (15-30 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 16 และภาพที่ 9

3.21) ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 4.53% ในขณะที่การใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 10% และ 30% ไม่มีความแตกต่างกันโดยสามารถสกัด Cd ออกมาได้ 2.26% และ 2.72% ตามลำดับ

3.22) ขนาดอนุภาคที่ 1.00-2.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่(50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 21.18% รองลงมาคือ 0% (7.40%)

3.23) ขนาดอนุภาค 0.5-1.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ (50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 16.19% รองลงมาคือ 0% (2.15%)

3.24) ขนาดอนุภาค 0.25-0.5 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ (50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 27.20% รองลงมาคือ 10% (14.72%)

3.25) ขนาดอนุภาค 0.106-0.25 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่(50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 21.08% รองลงมาคือ 0% (5.61%)

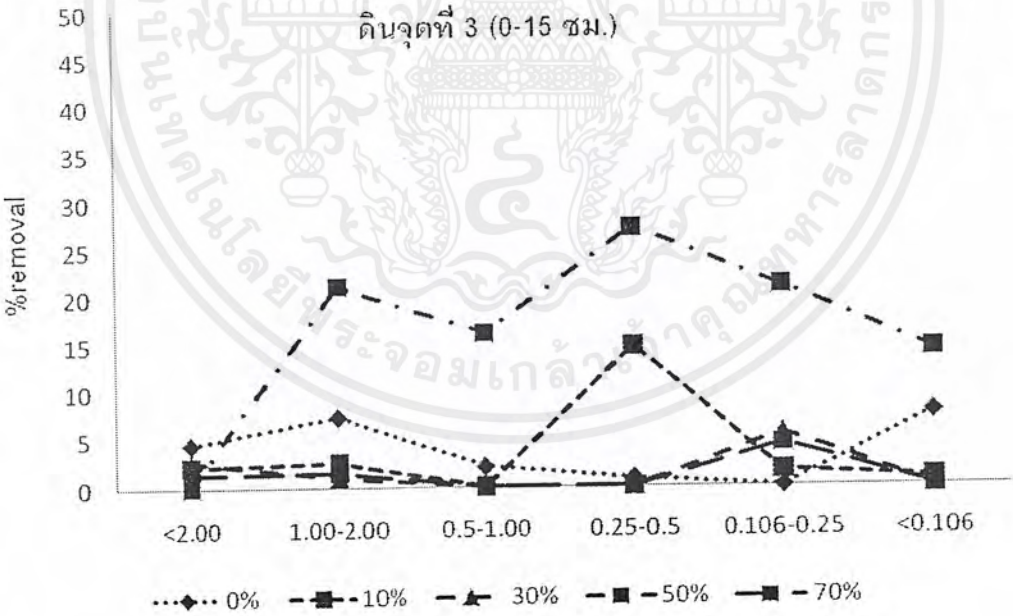
3.26) ขนาดอนุภาค <0.106 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ (50%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้มากที่สุดเท่ากับ 14.38% รองลงมาคือ 0% (7.77%)

โดยสรุปพบว่าการใช้น้ำยาสกัด EDTA ร่วมกับการใช้ Ultrasonic ความถี่ที่ 50% มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงสุดในทุกขนาดอนุภาค ซึ่งการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการสกัด Cd สูงสุดที่ขนาดอนุภาคดิน <2.00 มิลลิเมตร รองลงมาคือ การใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ 10% และ 30% ส่วนการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 70% มีประสิทธิภาพในการสกัด Cd ได้ต่ำที่สุด

ตารางที่ 18 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ Ultrasonic ในการศึกษาหาความถี่

Freequency	%Removal					
	ขนาดอนุภาค (mm.)					
	<2.00	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
0%	4.53a	7.40b	2.15b	0.92c	0.05d	7.77b
10%	2.26b	2.64c	0.05c	14.72b	1.68c	0.83c
30%	2.72b	1.05d	0.05c	0.05c	5.61b	0.08c
50%	0.05d	21.18a	16.19a	27.20a	21.08a	14.38a
70%	1.36c	1.58cd	0.05c	0.05c	4.49b	0.05c

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 12 ประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ร่วมด้วยการใช้ Ultrasonic ในการศึกษาหาความถี่

6. ผลการทดลองภายหลังการกำจัดแคดเมียมออกจากดินโดยใช้ฮีดรียูเอ (EDTA) เป็นน้ำยาสกัด

หลังจากการบำบัดและคำนวณปริมาณ Cd ที่ยังปนเปื้อนในดินดังแสดงในตารางที่ 20 และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของประเทศเนเธอร์แลนด์ (ตารางที่ 19) พบว่าดินจุดที่ 1 ปริมาณแคดเมียมหลังผ่านการบำบัดในดินบน (0-15 ซม.) ในแต่ละอนุภาคดินมีปริมาณแคดเมียมอยู่ในปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง (B) อยู่ในช่วง 19.02-19.55 mg/kg โดยมีที่ขนาดอนุภาค 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.5-1.00 มิลลิเมตร, และ <0.106 มิลลิเมตร และที่ขนาดอนุภาค 0.25-0.51 มิลลิเมตร, 0.106-0.25 มิลลิเมตร และ 0.25-0.5 มิลลิเมตร มีปริมาณแคดเมียมเกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัดบำบัด (C) อยู่ในช่วง 21.81-25.77 mg/kg ยกเว้นที่ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร มีปริมาณแคดเมียมเท่ากับที่พบในดินบริเวณทั่วไป (A) มีค่าเท่ากับ 11.34 mg/kg ส่วนในดินล่างพบว่าในแต่ละอนุภาคดินมีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) อยู่ในช่วง 7.42-13.79 mg/kg ยกเว้นที่ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร มีปริมาณแคดเมียมเท่ากับที่พบในดินบริเวณทั่วไป (A) มีค่าเท่ากับ 3.99 mg/kg

ดินจุดที่ 2 ปริมาณแคดเมียมหลังผ่านการบำบัดในดินบน (0-15 ซม.) อนุภาคที่มีปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) ที่ขนาดอนุภาค 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.25-0.5 มิลลิเมตร, 0.106-0.25 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ในช่วง 20.59-35.44 mg/kg อนุภาคดินที่มีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) อยู่ในช่วง 10.02-14.38 mg/kg ที่อนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร, <0.106 มิลลิเมตร ยกเว้นที่ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร มีปริมาณแคดเมียมเท่ากับที่พบในดินบริเวณทั่วไป (A) มีค่าเท่ากับ 6.20 mg/kg ส่วนในดินล่างพบว่าในอนุภาคที่มีปริมาณแคดเมียมเท่ากับที่พบในดินบริเวณทั่วไป (A) ที่อนุภาคขนาด <2.00 มิลลิเมตร, 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.5-1.00 มิลลิเมตร, 0.25-0.5 มิลลิเมตร, 0.106-0.25 มิลลิเมตร, และ <0.106 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.79-5.47 mg/kg

ดินจุดที่ 3 ปริมาณแคดเมียมหลังผ่านการบำบัดในดินบน (0-15 ซม.) มีปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) ที่ขนาดอนุภาค <2.00, 1.00-2.00, 0.5-1.00, 0.25-0.5 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ในช่วง 1.46-32.04 mg/kg ยกเว้นขนาดอนุภาค 0.106-0.25, และ <0.106 มิลลิเมตร ที่มีปริมาณแคดเมียมเท่ากับที่พบในดินบริเวณทั่วไป (A) มีค่าเท่ากับ 17.56-45.48

mg/kg ส่วนในดินล่างพบว่าอนุภาคดินที่มีปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) ที่ขนาดอนุภาคขนาด 0.25-0.5 มิลลิเมตร, และ 0.106-0.25 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ในช่วง 21.08-27.20 mg/kg อนุภาคดินที่มีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) อยู่ในช่วง 10.02-14.38 mg/kg ที่อนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร ยกเว้นขนาดอนุภาคขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.5-1.00 มิลลิเมตร และ <0.106 มิลลิเมตร มีค่ามีค่าอยู่ในช่วง 14.38-21.18 mg/kg ยกเว้นที่ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร มีปริมาณแคดเมียมเท่ากับที่พบในดินบริเวณทั่วไป (A) มีค่าเท่ากับ 4.53 mg/kg



ตารางที่ 19 ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้ง 3 จุด ในการพิจารณาระดับการปนเปื้อน

Soils	Dept (cm)	ระดับการปนเปื้อน (mg Cd kg ⁻¹)		
		A*	B	C
Soil - 1	0 - 15	≤13.07	13.08 - 20	≥20
	15-30	≤4.24	4.25 - 20	≥20
Soil - 2	0 - 15	≤7.00	7.00 - 20	≥20
	15-30	≤5.78	5.79 - 20	≥20
Soil - 3	0 - 15	≤9.73	9.74 - 20	≥20
	15-30	≤9.23	9.24 - 20	≥20

$A^* = 0.4 + 0.007 (L + 3H)$; L = Clay (%), H = OM (%) ดัดแปลงจาก Forster (1994)

A = ปริมาณที่พบในดินทั่วไป, B = ปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง, C = ปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด

ตารางที่ 20 ปริมาณแคดเมียมในดินหลังการบำบัดด้วยเทคนิคการล้างดิน

Soils	Dept (cm.)	Cd remained in soil (mg/kg ⁻¹)					
		<2.00	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
		mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Soil - 1	0 - 15	11.34 (A)	19.55 (B)	19.05 (B)	21.81(C)	25.77 (C)	19.02(B)
	15 - 30	3.99 (A)	7.42 (B)	11.54 (B)	10.49(B)	9.68(B)	13.79(B)
Soil - 2	0 - 15	6.20 (A)	20.59 (C)	14.38 (B)	35.44(C)	31.70(C)	10.02(B)
	15 - 30	1.79 (A)	3.44 (A)	3.52 (A)	4.81 (A)	4.00 (A)	5.47(A)
Soil - 3	0 - 15	1.76 (A)	22.54 (C)	32.04(C)	24.34 (C)	45.48(A)	17.56(B)
	15 - 30	4.53 (A)	21.18 (B)	16.19(B)	27.20(C)	21.08 (C)	14.38(B)

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรใน () แสดงถึงปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวังตามมาตรฐานระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอร์แลนด์ (20 mg/kg⁻¹)

2) A = ปริมาณที่พบในดินทั่วไป, B = ปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง, C = ปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในดินทั้ง 3 จุด พบว่าเป็นดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง, ดินร่วนเหนียว, ดินร่วนปนทราย และดินร่วน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดินทั้ง 3 จุดนั้น มีความเป็นด่างเล็กน้อยถึงปานกลางและค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) พบว่า ดินทั้ง 3 จุดไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุดิน (OM) ดินทั้ง 3 จุด มีค่าอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงสูงมาก ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ดินทั้ง 3 จุด มีค่าค่อนข้างต่ำถึงสูง ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable base) ของดินทั้ง 3 จุด นั้น Ca มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูง K มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง และ Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก และค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) ของดินทั้ง 3 จุด มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก

ผลจากการศึกษาผลของความถี่ในการใช้ Ultrasonic ร่วมกับเทคนิคการล้างดินในการกำจัดดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม (Cd) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด ในดินจุดที่ 1 ในกรณีของดินบนพบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มากที่สุด ในดินบนทุกขนาดอนุภาค สามารถสกัด Cd ออกมาได้ระหว่าง 11.34-25.77% สำหรับดินล่างพบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) สามารถสกัด Cd ออกมาได้ระหว่าง 3.99-13.79% ยกเว้นที่ขนาดอนุภาค 0.5-1.00 มิลลิเมตร และ 0.106-0.25 มิลลิเมตร ที่ความถี่ที่ 50% สามารถสกัด Cd ออกมาได้ระหว่าง 7.42-9.68% หลังจากการบำบัดแล้วพบว่าในดินบน (0-15 ซม.) พบว่า อนุภาคขนาด <2.00 มิลลิเมตร มีปริมาณ Cd ที่สกัดได้อยู่ที่ 11.34 mg/kg ซึ่งอยู่ในระดับที่พบในดินทั่วไป (A) ส่วนขนาดอนุภาค 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.5-1.00 มิลลิเมตร และ <0.106 พบว่ามีระดับ Cd ในปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง (B) โดยมี Cd อยู่ในช่วง 19.02-19.55 mg/kg ส่วนขนาดอนุภาคที่ 0.25-0.5 มิลลิเมตร และ 0.106-0.25 มิลลิเมตร พบว่ามีระดับ Cd ในปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐาน (C) ซึ่งมี Cd อยู่ในช่วง 21.81-25.77 mg/kg ในดินล่าง (15-30 ซม.) โดยในแต่ละอนุภาคดิน มีปริมาณแคดเมียมที่พบในปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง (B) โดยมี Cd อยู่ในช่วง 7.42-13.79 mg/kg ยกเว้นที่ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร มีปริมาณ Cd ที่สกัดได้อยู่ที่ 3.99 mg/kg ซึ่งอยู่ในระดับที่พบในดินทั่วไป (A)

ในดินจุดที่ 2 การไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มากที่สุดที่ดินบนที่ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร, 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.5-1.00 มิลลิเมตร และ <0.106 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถสกัด Cd ออกมาได้ระหว่าง 6.20-20.59% และการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 50% มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มากที่สุดที่ดินบนที่ขนาดอนุภาค 0.25-0.5 มิลลิเมตร และ 0.106-0.25 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถสกัด Cd ออกมาได้ระหว่าง 31.70-35.44% สำหรับดินล่างผลที่ได้ คือ พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 50% มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มากที่สุดที่ขนาดอนุภาค 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.5-1.00 มิลลิเมตร, 0.25-0.5 มิลลิเมตร, และ 0.106-0.25 มิลลิเมตร สามารถสกัดออกมาได้ระหว่าง 3.44-16.19 % ในขณะที่อนุภาค <2.00 มิลลิเมตรสามารถสกัดได้ 1.79% ที่ความถี่ที่ 0% และที่ความถี่ 10% สามารถสกัดออกได้ 5.47% หลังจากการบำบัดแล้วพบว่าในดินบน (0-15 ซม.) อนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร และ <0.106 มิลลิเมตร มี Cd อยู่ในช่วง 10.02-14.38 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) ส่วนอนุภาคอื่นๆ มี Cd อยู่ในช่วง 20.59-35.44 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) ยกเว้นที่ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร มีปริมาณ Cd ที่สกัดได้อยู่ที่ 6.20mg/kg ซึ่งอยู่ในระดับที่พบในดินทั่วไป (A) และในดินล่าง (15-30 ซม.) ในแต่ละอนุภาคดิน มี 1.79-5.47 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่พบในดินทั่วไป (A)

ในดินจุดที่ 3 พบว่าการไม่ใช้ Ultrasonic (0%) มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มากที่สุดในทุกขนาดอนุภาคของดินบนสามารถสกัด Cd ออกมาได้ระหว่าง 1.76-32.04% ยกเว้นขนาดอนุภาคที่ 0.106-0.25 มิลลิเมตร และ <0.106 มิลลิเมตร ที่ความถี่ที่ 50% สามารถสกัด Cd ออกมาได้ระหว่าง 17.56-45.48% สำหรับดินล่าง พบว่าการใช้ Ultrasonic ที่ความถี่ที่ 50% มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มากที่สุด ในทุกขนาดอนุภาคของดินล่างมีปริมาณ Cd ที่สกัดได้อยู่ระหว่าง 14.38-27.20 mg/kg ยกเว้นที่ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร ที่ความถี่ที่ 0% สามารถสกัด Cd ออกมาได้ 4.53 mg/kg หลังจากการบำบัดแล้วพบว่าในดินบน (0-15 ซม.) ของทุกขนาดอนุภาคสามารถสกัด Cd ออกได้อยู่ในช่วง 1.76-32.04 mg/kg ซึ่งเป็นปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) ยกเว้นที่ขนาดอนุภาค 0.106-0.25 มิลลิเมตร และ <0.106 มิลลิเมตร มีปริมาณ Cd ที่สกัดได้อยู่ที่ 17.56-45.48 mg/kg ซึ่งอยู่

ในระดับที่พบในดินทั่วไป (A) ในดินล่าง (15-30 ซม.) ในขนาดอนุภาคดิน 0.25-0.5 มิลลิเมตร และ 0.106-0.25 มิลลิเมตร มี Cd อยู่ในช่วง 21.08-27.20mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐาน ควรได้รับการบำบัด (C) ที่อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.5-1.00 มิลลิเมตร และ <0.106 มิลลิเมตร มี Cd อยู่ในช่วง 14.38-21.18 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) ยกเว้นที่ ขนาดอนุภาค <2.00 มิลลิเมตร มีปริมาณ Cd ที่สกัดได้อยู่ที่ 4.53 mg/kg ซึ่งอยู่ในระดับที่พบใน ดินทั่วไป (A)



เอกสารอ้างอิง

กรมแผนที่ทหาร. 2522. แผนที่แสดงอำเภอแม่สอด.

กนก วลัยลักษณ์. 2548. การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่า โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด. ปรินูญานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คมสรร์ ศิริติกุล, ปนัดดา รุจะศิริ. 2547. การล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้สารละลายโซเดียมอิตีทีเอ. ปรินูญานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ชุตินา สันนาคดี, พรพิมล พัดภู. 2544. การดูดซับทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลายจากกากตะกอนโดยใช้ไคโตซาน. ปรินูญานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นริศรา เนียมฤทธิ์. 2549. การล้างโลหะหนักออกจากดินที่ปนเปื้อนโดยใช้สารละลายระหว่างโซเดียมอิตีทีเอและโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์และการนำสารละลายผสมกลับมาใช้ใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นัทธีร์ ศรีวิริยานุภาพ. 2545. การล้างดินและกากตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะแคดเมียมโดยใช้สารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์กับโซเดียมอิตีทีเอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มนตรี ไช้แก้ว. 2543. รูปแบบและการสะสมปริมาณตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และทองแดงในน้ำบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อู่แก้ว เอี่ยมลำอาจ. 2547. ผลของอิตีทีเอต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย โดยวิธีอัลตราไนด์คลอรีเนชันและปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Nukoon Tawintung. 2004. Physico-Chemical Technique, Soil Washing and Soil Flushing for remediation of lead contaminated soils. Degree of doctor. Asian Institute of Technology.



ตารางผนวกที่ 1 แสดงค่าวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแต่ละจุด(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})

Soils	Dept (cm.)	ขนาดอนุภาค (mm.)	K	Na	Ca	Mg
			Meq / 100 g soil			
Soil - 1	0 - 15	<2.00	0.28	0.68	42.76	33.37
		2.00-1.00	0.45	0.48	14.74	0.91
		0.5-1.00	0.42	0.50	16.06	0.77
		0.25-0.5	0.48	0.49	18.77	0.89
		0.106-0.5	0.35	11.27	23.57	1.00
		<0.106	0.34	0.61	11.02	0.52
Soil - 1	15 - 30	<2.00	0.08	0.72	14.91	2.45
		2.00-1.00	0.26	0.53	6.79	0.52
		0.5-1.00	0.28	0.46	10.84	0.98
		0.25-0.5	0.29	0.53	9.79	0.69
		0.106-0.5	0.26	0.50	8.64	1.10
		<0.106	0.18	0.35	12.07	2.21
Soil - 2	0 - 15	<2.00	0.16	1.70	49.55	1.74
		2.00-1.00	0.20	0.13	7.17	0.40
		0.5-1.00	0.18	0.18	7.85	0.40
		0.25-0.5	0.18	0.13	8.68	0.45
		0.106-0.5	0.16	0.15	8.29	0.40
		<0.106	0.13	0.39	10.68	0.54
Soil - 2	15 - 30	<2.00	0.09	0.22	22.03	0.50
		2.00-1.00	0.17	0.17	6.10	0.40
		0.5-1.00	0.15	3.60	7.04	0.40
		0.25-0.5	0.12	0.14	6.06	0.33
		0.106-0.5	0.05	0.38	11.03	0.49
		<0.106	0.08	0.79	10.72	0.57

ตารางผนวกที่ 1(ต่อ)

Soils	Dept (cm.)	ขนาดอนุภาค (mm.)	K	Na	Ca	Mg
			Meq/100 g soil			
Soil - 3	0 - 15	<2.00	0.24	0.58	7.46	2.10
		2.00-1.00	0.17	0.31	1.57	0.48
		0.5-1.00	0.20	0.30	1.69	0.50
		0.25-0.5	0.16	0.30	1.99	0.44
		0.106-0.5	0.20	0.57	1.94	0.50
		<0.106	0.24	0.24	2.29	0.62
		<2.00	0.20	0.51	8.37	1.95
Soil - 3	15 - 30	2.00-1.00	0.17	0.26	1.29	0.39
		0.5-1.00	0.15	0.26	8.00	1.83
		0.25-0.5	0.13	0.29	1.20	0.35
		0.106-0.5	0.07	0.39	1.59	0.47
		<0.106	0.18	0.75	1.69	0.57
		<2.00	0.20	0.51	8.37	1.95

ตารางผนวกที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 1

จุดที่ 1 ดินบน อนุภาคขนาด <2.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan				
treat	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
frequency50%	3	.4833		
frequency70%	3	.8133		
frequency30%	3	.9400		
frequency10%	3		1.8567	
frequency0%	3			11.3400
Sig.		.193	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 1 ดินบน อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan				
treat	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
frequency30%	3	.0633		
frequency10%	3	.5800	.5800	
frequency70%	3	3.1600	3.1600	
frequency50%	3		3.6833	
frequency0%	3			19.5500
Sig.		.079	.078	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 1 ดินบน อนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05			
treat	N	1	2	3	4
frequency10%	3	.0500			
frequency30%	3	.0500			
frequency70%	3		3.2667		
frequency50%	3			5.9500	
frequency0%	3				19.0500
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 1 ดินบน อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency10%	3	.0500		
frequency30%	3	.0500		
frequency70%	3	.0500		
frequency50%	3		8.1700	
frequency0%	3			21.8167
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2(ต่อ)

จุดที่ 1 ดินปน อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency10%	3	.0500		
frequency30%	3	.0500		
frequency70%	3	.0500		
frequency50%	3		8.1900	
frequency0%	3			25.7700
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 1 ดินปน อนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency10%	3	.0500		
frequency70%	3	.0500		
frequency30%	3	.0533		
frequency50%	3		8.8300	
frequency0%	3			19.0200
Sig.		.989	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 1 ดินล่าง อนุภาคขนาด <2.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency50%	3	.0500		
frequency10%	3		1.4167	
frequency30%	3		1.4167	
frequency70%	3		1.5900	
frequency0%	3			3.9900
Sig.		1.000	.058	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 1 ดินล่าง อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency70%	3	.0700		
frequency30%	3	.1433		
frequency10%	3	.2233		
frequency0%	3		3.5433	
frequency50%	3			7.4267
Sig.		.719	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 1 ดินล่างอนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency70%	3	.1633		
frequency30%	3	.5833		
frequency10%	3	.7200		
frequency50%	3		7.3900	
frequency0%	3			11.5433
Sig.		.369	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 1 ดินล่าง อนุภาค 0.25-0.5 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency70%	3	.0833		
frequency30%	3	.1200		
frequency10%	3	.3833		
frequency50%	3		4.7500	
frequency0%	3			10.4933
Sig.		.530	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 1 ดินล่างอนุภาคขนาด 0.106-0.25 มิลลิเมตร

Percent

Duncan			
treat	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
frequency0%	3	.0933	
frequency10%	3	.0967	
frequency70%	3	.0967	
frequency30%	3	.2933	
frequency50%	3		9.6800
Sig.		.179	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 1 ดินล่างอนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร

Percent

Duncan				
treat	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
frequency30%	3	.4000		
frequency10%	3	.7333		
frequency70%	3	.7600		
frequency50%	3		4.4467	
frequency0%	3			13.7900
Sig.		.428	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 2 ดินบนอนุภาคขนาด <2.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan			
treat	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
frequency50%	3	.0500	
frequency70%	3	.0500	
frequency10%	3	.2267	
frequency30%	3	.4200	
frequency0%	3		6.2067
Sig.		.256	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 2 ดินบนอนุภาคขนาด 1.00 - 2.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan				
treat	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
frequency30%	3	.0500		
frequency70%	3	.0500		
frequency10%	3	.3400		
frequency50%	3		13.1500	
frequency0%	3			20.5900
Sig.		.703	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 2 ดินบนอนุภาคขนาด 0.5 - 1.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan

treat	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
frequency70%	3	.0500			
frequency10%	3	.0900			
frequency30%	3		.5533		
frequency50%	3			12.4967	
frequency0%	3				14.3800
Sig.		.697	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 2 ดินบนอนุภาคขนาด 0.25 - 0.5 มิลลิเมตร

Percent

Duncan

treat	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
frequency10%	3	.5533		
frequency70%	3	.5533		
frequency30%	3	1.4833		
frequency0%	3		20.1500	
frequency50%	3			35.4433
Sig.		.147	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 2 ดินบนอนุภาคขนาด 0.106 - 0.25 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05			
treat	N	1	2	3	4
frequency10%	3	.4833			
frequency70%	3	.5633	.5633		
frequency30%	3		1.4600		
frequency0%	3			15.5000	
frequency50%	3				31.7033
Sig.		.850	.055	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 2 ดินบนอนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency10%	3	.6167		
frequency70%	3	.7033		
frequency30%	3	.8000		
frequency50%	3		6.6200	
frequency0%	3			10.0267
Sig.		.742	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 2 ดินล่างอนุภาคขนาด <2.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05			
treat	N	1	2	3	4
freequency50%	3	.0500			
freequency70%	3		.4767		
freequency10%	3		.5100		
freequency30%	3			.6833	
freequency0%	3				1.7933
Sig.		1.000	.619	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 2 ดินล่างอนุภาคขนาด 1.00 - 2.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
freequency30%	3	.0500		
freequency70%	3	.0500		
freequency10%	3	.2000		
freequency0%	3		2.7167	
freequency50%	3			3.4400
Sig.		.529	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 2 ดินล่างอนุภาคขนาด 0.5 - 1.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan				
treat	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
frequency30%	3	.0500		
frequency70%	3	.0500		
frequency10%	3		.5500	
frequency0%	3			3.2833
frequency50%	3			3.5267
Sig.		1.000	1.000	.135

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 2 ดินล่างอนุภาคขนาด 0.25 - 0.5 มิลลิเมตร

Percent

Duncan				
treat	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
frequency30%	3	.4000		
frequency70%	3	1.1333	1.1333	
frequency10%	3		1.7767	
frequency50%	3			4.5667
frequency0%	3			4.8133
Sig.		.105	.148	.562

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 2 ดินล่างอนุภาคขนาด 0.106 - 0.25 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency30%	3	.3700		
frequency70%	3	.3833		
frequency10%	3	.3900		
frequency0%	3		1.3833	
frequency50%	3			4.0067
Sig.		.957	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 2 ดินล่างอนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05			
treat	N	1	2	3	4
frequency70%	3	.8033			
frequency30%	3	1.3533			
frequency0%	3		2.4933		
frequency50%	3			4.3967	
frequency10%	3				5.4700
Sig.		.064	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 3 ดินบนอนุภาคขนาด <2.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05	
treat	N	1	2
frequency10%	3	.0500	
frequency50%	3	.0500	
frequency30%	3	.4800	
frequency70%	3	.4800	
frequency0%	3		1.7600
Sig.		.076	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 3 ดินบนอนุภาคขนาด 1.00 - 2.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05			
treat	N	1	2	3	4
frequency10%	3	.7800			
frequency70%	3		7.1500		
frequency30%	3			10.2900	
frequency50%	3				20.8000
frequency0%	3				22.5433
Sig.		1.000	1.000	1.000	.231

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 3 ดินบนอนุภาคขนาด 0.5 - 1.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency10%	3	.0500		
frequency30%	3	.0500		
frequency70%	3	.0500		
frequency50%	3		26.3100	
frequency0%	3			32.0433
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 3 ดินบนอนุภาคขนาด 0.25 - 0.5 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05			
treat	N	1	2	3	4
frequency10%	3	1.5633			
frequency30%	3		3.7967		
frequency70%	3		4.9133		
frequency50%	3			14.6067	
frequency0%	3				24.3467
Sig.		1.000	.240	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 3 ดินบนอนุภาคขนาด 0.106 - 0.25 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05			
treat	N	1	2	3	4
frequency30%	3	2.6733			
frequency10%	3		3.8967		
frequency70%	3		4.5467		
frequency0%	3			14.8733	
frequency50%	3				45.4833
Sig.		1.000	.171	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 3 ดินบนอนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05			
treat	N	1	2	3	4
frequency10%	3	.9100			
frequency30%	3		1.6000		
frequency70%	3		1.6000		
frequency0%	3			14.9000	
frequency50%	3				17.5633
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 3 ดินล่างอนุภาคขนาด <2.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05			
treat	N	1	2	3	4
frequency50%	3	.0500			
frequency70%	3		1.3600		
frequency10%	3			2.2667	
frequency30%	3			2.7200	
frequency0%	3				4.5333
Sig.		1.000	1.000	.290	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 3 ดินล่างอนุภาคขนาด 1.00 - 2.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05			
treat	N	1	2	3	4
frequency30%	3	1.0500			
frequency70%	3	1.5800	1.5800		
frequency10%	3		2.6400		
frequency0%	3			7.4000	
frequency50%	3				21.1833
Sig.		.392	.104	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 3 ดินล่างอนุภาคขนาด 0.5 - 1.00 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency10%	3	.0500		
frequency30%	3	.0500		
frequency70%	3	.0500		
frequency0%	3		2.1567	
frequency50%	3			16.1900
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 3 ดินล่างอนุภาคขนาด 0.25 - 0.5 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency30%	3	.0500		
frequency70%	3	.0500		
frequency0%	3	.9200		
frequency10%	3		14.7233	
frequency50%	3			27.2033
Sig.		.135	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 3 ดินล่างอนุภาคขนาด 0.106 - 0.25 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05			
treat	N	1	2	3	4
frequency0%	3	.0500			
frequency10%	3		1.6800		
frequency70%	3			4.4900	
frequency30%	3			5.6133	
frequency50%	3				21.0800
Sig.		1.000	1.000	.057	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 3 ดินล่างอนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร

Percent

Duncan		Subset for alpha = 0.05		
treat	N	1	2	3
frequency70%	3	.0500		
frequency30%	3	.0800		
frequency10%	3	.8300		
frequency0%	3		7.7733	
frequency50%	3			14.3833
Sig.		.149	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางผนวกที่ 3 แสดงปริมาณแคะเคาะเริ่มต้นที่สกัดได้จากการใช้ดัดที่เอเป็นนายาสกัด

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
1	1	0%	0 - 15	<2.00	2 : 1	1	1	12.04	
2	1	0%	0 - 15	<2.00	2 : 1	1	2	10.99	11.34
3	1	0%	0 - 15	<2.00	2 : 1	1	3	10.99	
4	1	10%	0 - 15	<2.00	2 : 1	2	1	0.05	
5	1	10%	0 - 15	<2.00	2 : 1	2	2	0.05	0.05
6	1	10%	0 - 15	<2.00	2 : 1	2	3	0.05	
7	1	30%	0 - 15	<2.00	2 : 1	3	1	0.05	
8	1	30%	0 - 15	<2.00	2 : 1	3	2	0.05	0.05
9	1	30%	0 - 15	<2.00	2 : 1	3	3	0.05	
10	1	50%	0 - 15	<2.00	2 : 1	4	1	0.05	
11	1	50%	0 - 15	<2.00	2 : 1	4	2	0.05	0.05
12	1	50%	0 - 15	<2.00	2 : 1	4	3	0.05	
13	1	70%	0 - 15	<2.00	2 : 1	5	1	0.05	
14	1	70%	0 - 15	<2.00	2 : 1	5	2	0.05	0.05
15	1	70%	0 - 15	<2.00	2 : 1	5	3	0.05	
16	1	0%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	1	1	24.14	
17	1	0%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	1	2	18.11	19.55
18	1	0%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	1	3	16.4	
19	1	10%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	2	1	0.84	8.52
20	1	10%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	2	2	24.14	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
21	1	10%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	2	3	0.58	
22	1	30%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	3	1	0.32	
23	1	30%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	3	2	0.09	0.15
24	1	30%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	3	3	0.04	
25	1	50%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	4	1	0.06	
26	1	50%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	4	2	3.10	2.47
27	1	50%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	4	3	4.27	
28	1	70%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	5	1	3.68	
29	1	70%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	5	2	0.04	1.25
30	1	70%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	5	3	0.04	
31	1	0%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	1	1	19.94	
32	1	0%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	1	2	19.10	19.05
33	1	0%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	1	3	18.11	
34	1	10%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	2	1	0.05	
35	1	10%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	2	2	0.05	0.05
36	1	10%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	2	3	0.05	
37	1	30%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	3	1	0.05	
38	1	30%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	3	2	0.05	0.05
39	1	30%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	3	3	0.05	
40	1	50%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	4	1	5.91	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
41	1	50%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	4	2	5.93	5.95
42	1	50%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	4	3	6.01	
43	1	70%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	5	1	0.05	
44	1	70%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	5	2	0.05	0.05
45	1	70%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	5	3	0.05	
46	1	0%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	1	1	20.71	
47	1	0%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	1	2	21.64	21.81
48	1	0%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	1	3	23.1	
49	1	10%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	2	1	0.05	
50	1	10%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	2	2	0.05	0.05
51	1	10%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	2	3	0.05	
52	1	30%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	3	1	0.05	
53	1	30%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	3	2	0.05	0.05
54	1	30%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	3	3	0.05	
55	1	50%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	4	1	8.17	
56	1	50%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	4	2	9.07	8.17
57	1	50%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	4	3	7.27	
58	1	70%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	5	1	0.05	
59	1	70%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	5	2	0.05	0.05
60	1	70%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	5	3	0.05	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
61	1	0%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	1	1	25.37	
62	1	0%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	1	2	25.97	25.37
63	1	0%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	1	3	25.97	
64	1	10%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	2	1	0.05	
65	1	10%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	2	2	0.05	0.05
66	1	10%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	2	3	0.05	
67	1	30%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	3	1	0.05	
68	1	30%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	3	2	0.05	0.05
69	1	30%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	3	3	0.05	
70	1	50%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	4	1	8.19	
71	1	50%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	4	2	8.19	8.19
72	1	50%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	4	3	8.19	
73	1	70%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	5	1	0.05	
74	1	70%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	5	2	0.05	0.05
75	1	70%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	5	3	0.05	
76	1	0%	0 - 15	<0.106	2 : 1	1	1	19.69	
77	1	0%	0 - 15	<0.106	2 : 1	1	2	18.61	19.02
78	1	0%	0 - 15	<0.106	2 : 1	1	3	18.76	
79	1	10%	0 - 15	<0.106	2 : 1	2	1	0.05	
80	1	10%	0 - 15	<0.106	2 : 1	2	2	0.05	0.05

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
81	1	10%	0 - 15	<0.106	2 : 1	2	3	0.05	
82	1	30%	0 - 15	<0.106	2 : 1	3	1	0.05	
83	1	30%	0 - 15	<0.106	2 : 1	3	2	0.06	0.05
84	1	30%	0 - 15	<0.106	2 : 1	3	3	0.05	
85	1	50%	0 - 15	<0.106	2 : 1	4	1	9.08	
86	1	50%	0 - 15	<0.106	2 : 1	4	2	8.83	8.81
87	1	50%	0 - 15	<0.106	2 : 1	4	3	8.58	
88	1	70%	0 - 15	<0.106	2 : 1	5	1	0.05	
89	1	70%	0 - 15	<0.106	2 : 1	5	2	0.05	0.05
90	1	70%	0 - 15	<0.106	2 : 1	5	3	0.05	
91	1	0%	15 - 30	<2.00	2 : 1	1	1	3.99	
92	1	0%	15 - 30	<2.00	2 : 1	1	2	3.99	3.99
93	1	0%	15 - 30	<2.00	2 : 1	1	3	3.99	
94	1	10%	15 - 30	<2.00	2 : 1	2	1	1.59	
95	1	10%	15 - 30	<2.00	2 : 1	2	2	1.33	1.41
96	1	10%	15 - 30	<2.00	2 : 1	2	3	1.33	
97	1	30%	15 - 30	<2.00	2 : 1	3	1	1.59	
98	1	30%	15 - 30	<2.00	2 : 1	3	2	1.33	1.41
99	1	30%	15 - 30	<2.00	2 : 1	3	3	1.33	
100	1	50%	15 - 30	<2.00	2 : 1	4	1	0.05	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
101	1	50%	15 - 30	<2.00	2 : 1	4	2	0.05	0.05
102	1	50%	15 - 30	<2.00	2 : 1	4	3	0.05	
103	1	70%	15 - 30	<2.00	2 : 1	5	1	1.59	
104	1	70%	15 - 30	<2.00	2 : 1	5	2	1.59	1.59
105	1	70%	15 - 30	<2.00	2 : 1	5	3	1.59	
106	1	0%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	1	1	3.66	
107	1	0%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	1	2	3.38	3.54
108	1	0%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	2	3	3.59	
109	1	10%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	2	1	0.25	
110	1	10%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	2	2	0.22	0.22
111	1	10%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	3	3	0.20	
112	1	30%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	3	1	0.01	
113	1	30%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	3	2	0.35	0.14
114	1	30%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	4	3	0.07	
115	1	50%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	4	1	7.43	
116	1	50%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	4	2	6.37	7.42
117	1	50%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	5	3	8.48	
118	1	70%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	5	1	0.07	
119	1	70%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	5	2	0.07	0.07
120	1	70%	15 - 30	2.00 – 1.00	2 : 1	1	3	0.07	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
121	1	0%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	1	1	12.11	
122	1	0%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	1	2	11.54	11.41
123	1	0%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	2	3	10.98	
124	1	10%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	2	1	0.72	
125	1	10%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	2	2	0.70	2.16
126	1	10%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	3	3	0.74	
127	1	30%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	3	1	0.42	
128	1	30%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	3	2	0.56	0.58
129	1	30%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	4	3	0.77	
130	1	50%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	4	1	8.82	
131	1	50%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	4	2	5.96	7.39
132	1	50%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	5	3	7.39	
133	1	70%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	5	1	0.14	
134	1	70%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	5	2	0.14	0.16
135	1	70%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	1	3	0.21	
136	1	0%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	1	1	10.93	
137	1	0%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	1	2	10.06	10.49
138	1	0%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	2	3	10.49	
139	1	10%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	2	1	0.37	0.29
140	1	10%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	2	2	0.44	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
141	1	10%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	3	3	0.34	
142	1	30%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	3	1	0.18	
143	1	30%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	3	2	0.06	0.12
144	1	30%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	4	3	0.12	
145	1	50%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	4	1	4.17	
146	1	50%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	4	2	4.04	4.75
147	1	50%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	5	3	6.04	
148	1	70%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	5	1	0.12	
149	1	70%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	5	2	0.08	0.08
150	1	70%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	1	3	0.05	
151	1	0%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	1	1	0.05	
152	1	0%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	1	2	0.05	0.05
153	1	0%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	2	3	0.05	
154	1	10%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	2	1	0.05	
155	1	10%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	2	2	0.05	0.05
156	1	10%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	3	3	0.05	
157	1	30%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	3	1	0.05	
158	1	30%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	3	2	0.05	0.05
159	1	30%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	4	3	0.05	
160	1	50%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	4	1	9.68	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
161	1	50%	15 - 30	0.25 – 0.106	2 : 1	4	2	9.68	9.68
162	1	50%	15 - 30	0.25 – 0.106	2 : 1	5	3	9.68	
163	1	70%	15 - 30	0.25 – 0.106	2 : 1	5	1	0.05	
164	1	70%	15 - 30	0.25 – 0.106	2 : 1	5	2	0.05	0.05
165	1	70%	15 - 30	0.25 – 0.106	2 : 1	1	3	0.05	
166	1	0%	15 - 30	<0.106	2 : 1	1	1	12.7	
167	1	0%	15 - 30	<0.106	2 : 1	1	2	13.86	13.79
168	1	0%	15 - 30	<0.106	2 : 1	2	3	14.81	
169	1	10%	15 - 30	<0.106	2 : 1	2	1	0.72	
170	1	10%	15 - 30	<0.106	2 : 1	2	2	0.55	0.73
171	1	10%	15 - 30	<0.106	2 : 1	3	3	0.93	
172	1	30%	15 - 30	<0.106	2 : 1	3	1	0.51	
173	1	30%	15 - 30	<0.106	2 : 1	3	2	0.29	1.20
174	1	30%	15 - 30	<0.106	2 : 1	4	3	0.40	
175	1	50%	15 - 30	<0.106	2 : 1	4	1	4.71	
176	1	50%	15 - 30	<0.106	2 : 1	4	2	4.53	4.44
177	1	50%	15 - 30	<0.106	2 : 1	5	3	4.10	
178	1	70%	15 - 30	<0.106	2 : 1	5	1	0.58	
179	1	70%	15 - 30	<0.106	2 : 1	5	2	0.76	0.76
180	2	70%	15 - 30	<0.106	2 : 1	1	3	0.94	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
181	2	0%	0 - 15	<2.00	2 : 1	1	1	6.40	
182	2	0%	0 - 15	<2.00	2 : 1	1	2	5.82	6.20
183	2	0%	0 - 15	<2.00	2 : 1	2	3	6.40	
184	2	10%	0 - 15	<2.00	2 : 1	2	1	0.05	
185	2	10%	0 - 15	<2.00	2 : 1	2	2	0.05	0.22
186	2	10%	0 - 15	<2.00	2 : 1	3	3	0.58	
187	2	30%	0 - 15	<2.00	2 : 1	3	1	1.16	
188	2	30%	0 - 15	<2.00	2 : 1	3	2	0.05	0.42
189	2	30%	0 - 15	<2.00	2 : 1	4	3	0.05	
190	2	50%	0 - 15	<2.00	2 : 1	4	1	0.05	
191	2	50%	0 - 15	<2.00	2 : 1	4	2	0.05	0.05
192	2	50%	0 - 15	<2.00	2 : 1	5	3	0.05	
193	2	70%	0 - 15	<2.00	2 : 1	5	1	0.05	
194	2	70%	0 - 15	<2.00	2 : 1	5	2	0.05	0.05
195	2	70%	0 - 15	<2.00	2 : 1	1	3	0.05	
196	2	0%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	1	1	21.05	
197	2	0%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	1	2	20.59	20.59
198	2	0%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	2	3	20.13	
199	2	10%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	2	1	0.43	0.34
200	2	10%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	2	2	0.21	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
201	2	10%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	3	3	0.38	
202	2	30%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	3	1	0.05	
203	2	30%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	3	2	0.05	0.05
204	2	30%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	4	3	0.05	
205	2	50%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	4	1	13.15	
206	2	50%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	4	2	11.28	13.15
207	2	50%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	5	3	15.02	
208	2	70%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	5	1	0.05	
209	2	70%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	5	2	0.05	0.05
210	2	70%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	1	3	0.05	
211	2	0%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	1	1	14.38	
212	2	0%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	1	2	14.13	14.38
213	2	0%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	2	3	14.63	
214	2	10%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	2	1	0.12	
215	2	10%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	2	2	0.06	0.09
216	2	10%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	3	3	0.09	
217	2	30%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	3	1	0.62	
218	2	30%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	3	2	0.49	0.55
219	2	30%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	4	3	0.55	
220	2	50%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	4	1	12.58	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
221	2	50%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	4	2	12.41	12.49
222	2	50%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	5	3	12.50	
223	2	70%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	5	1	0.05	
224	2	70%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	5	2	0.05	0.05
225	2	70%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	1	3	0.05	
226	2	0%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	1	1	21.76	
227	2	0%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	1	2	18.97	20.15
228	2	0%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	2	3	19.72	
229	2	10%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	2	1	0.74	
230	2	10%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	2	2	0.46	0.55
231	2	10%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	3	3	0.46	
232	2	30%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	3	1	1.11	
233	2	30%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	3	2	1.30	1.48
234	2	30%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	4	3	2.04	
235	2	50%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	4	1	35.49	
236	2	50%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	4	2	35.53	35.44
237	2	50%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	5	3	35.31	
238	2	70%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	5	1	0.74	
239	2	70%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	5	2	0.55	0.55
240	2	70%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	1	3	0.37	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
241	2	0%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	1	1	16.80	
242	2	0%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	1	2	14.85	15.50
243	2	0%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	2	3	14.85	
244	2	10%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	2	1	0.48	
245	2	10%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	2	2	0.57	0.48
246	2	10%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	3	3	0.40	
247	2	30%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	3	1	1.46	
248	2	30%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	3	2	1.46	1.46
249	2	30%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	4	3	1.46	
250	2	50%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	4	1	31.69	
251	2	50%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	4	2	31.72	31.70
252	2	50%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	5	3	31.70	
253	2	70%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	5	1	0.65	
254	2	70%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	5	2	0.48	0.56
255	2	70%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	1	3	0.56	
256	2	0%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	1	1	8.88	
257	2	0%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	1	2	10.90	10.02
258	2	0%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	2	3	10.30	
259	2	10%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	2	1	0.55	0.61
260	2	10%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	2	2	0.55	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
261	2	10%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	3	3	0.75	
262	2	30%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	3	1	0.90	
263	2	30%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	3	2	0.80	0.80
264	2	30%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	4	3	0.70	
265	2	50%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	4	1	5.96	
266	2	50%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	4	2	6.26	6.62
267	2	50%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	5	3	7.64	
268	2	70%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	5	1	0.70	
269	2	70%	0 - 15	< 0.106	2 : 1	5	2	0.40	0.70
270	2	70%	15 - 30	< 0.106	2 : 1	1	3	1.01	
271	2	0%	15 - 30	< 2.00	2 : 1	1	1	1.86	
272	2	0%	15 - 30	< 2.00	2 : 1	1	2	1.76	1.79
273	2	0%	15 - 30	< 2.00	2 : 1	2	3	1.76	
274	2	10%	15 - 30	< 2.00	2 : 1	2	1	0.51	
275	2	10%	15 - 30	< 2.00	2 : 1	2	2	0.51	0.51
276	2	10%	15 - 30	< 2.00	2 : 1	3	3	0.51	
277	2	30%	15 - 30	< 2.00	2 : 1	3	1	0.72	
278	2	30%	15 - 30	< 2.00	2 : 1	3	2	0.82	0.68
279	2	30%	15 - 30	< 2.00	2 : 1	4	3	0.51	
280	2	50%	15 - 30	< 2.00	2 : 1	4	1	0.05	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
281	2	50%	15 - 30	<2.00	2 : 1	4	2	0.05	0.05
282	2	50%	15 - 30	<2.00	2 : 1	5	3	0.05	
283	2	70%	15 - 30	<2.00	2 : 1	5	1	0.41	
284	2	70%	15 - 30	<2.00	2 : 1	5	2	0.51	0.47
285	2	70%	15 - 30	<2.00	2 : 1	1	3	0.51	
286	2	0%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	1	1	2.23	
287	2	0%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	1	2	2.98	2.71
288	2	0%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	2	3	2.94	
289	2	10%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	2	1	0.50	
290	2	10%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	2	2	0.05	0.05
291	2	10%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	3	3	0.05	
292	2	30%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	3	1	0.05	
293	2	30%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	3	2	0.05	0.05
294	2	30%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	4	3	0.05	
295	2	50%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	4	1	3.44	
296	2	50%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	4	2	3.78	3.44
297	2	50%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	5	3	3.10	
298	2	70%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	5	1	0.05	
299	2	70%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	5	2	0.05	0.05
300	2	70%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	1	3	0.05	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
301	2	0%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	1	1	3.12	
302	2	0%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	1	2	3.43	3.28
303	2	0%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	2	3	3.30	
304	2	10%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	2	1	0.66	
305	2	10%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	2	2	0.55	0.55
306	2	10%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	3	3	0.44	
307	2	30%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	3	1	0.05	
308	2	30%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	3	2	0.05	0.05
309	2	30%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	4	3	0.05	
310	2	50%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	4	1	3.61	
311	2	50%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	4	2	3.13	3.52
312	2	50%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	5	3	3.84	
313	2	70%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	5	1	0.05	
314	2	70%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	5	2	0.05	0.05
315	2	70%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	1	3	0.05	
316	2	0%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	1	1	4.47	
317	2	0%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	1	2	5.16	4.79
318	2	0%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	2	3	4.81	
319	2	10%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	2	1	2.88	1.77
320	2	10%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	2	2	1.44	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
321	2	10%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	3	3	1.01	
322	2	30%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	3	1	0.43	
323	2	30%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	3	2	0.40	0.40
324	2	30%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	4	3	0.37	
325	2	50%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	4	1	4.81	
326	2	50%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	4	2	4.82	4.56
327	2	50%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	5	3	4.07	
328	2	70%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	5	1	1.09	
329	2	70%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	5	2	1.13	1.13
330	2	70%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	1	3	1.18	
331	2	0%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	1	1	1.38	
332	2	0%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	1	2	1.41	1.38
333	2	0%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	2	3	1.36	
334	2	10%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	2	1	1.03	
335	2	10%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	2	2	0.07	0.39
336	2	10%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	3	3	0.07	
337	2	30%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	3	1	0.45	
338	2	30%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	3	2	0.38	0.37
339	2	30%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	4	3	0.28	
340	2	50%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	4	1	3.47	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
341	2	50%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	4	2	3.68	4.00
342	2	50%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	5	3	4.87	
343	2	70%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	5	1	0.46	
344	2	70%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	5	2	0.33	0.38
345	2	70%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	1	3	0.36	
346	2	0%	15 - 30	<0.106	2 : 1	1	1	2.49	
347	2	0%	15 - 30	<0.106	2 : 1	1	2	2.53	2.49
348	2	0%	15 - 30	<0.106	2 : 1	2	3	2.46	
349	2	10%	15 - 30	<0.106	2 : 1	2	1	4.69	
350	2	10%	15 - 30	<0.106	2 : 1	2	2	5.86	5.47
351	2	10%	15 - 30	<0.106	2 : 1	3	3	5.86	
352	2	30%	15 - 30	<0.106	2 : 1	3	1	1.59	
353	2	30%	15 - 30	<0.106	2 : 1	3	2	1.12	1.35
354	2	30%	15 - 30	<0.106	2 : 1	4	3	1.35	
355	2	50%	15 - 30	<0.106	2 : 1	4	1	4.43	
356	2	50%	15 - 30	<0.106	2 : 1	4	2	4.36	4.39
357	2	50%	15 - 30	<0.106	2 : 1	5	3	4.40	
358	2	70%	15 - 30	<0.106	2 : 1	5	1	0.89	
359	2	70%	15 - 30	<0.106	2 : 1	5	2	0.72	0.80
360	2	70%	15 - 30	<0.106	2 : 1	1	3	0.80	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
361	3	0%	0 - 15	<2.00	2 : 1	1	1	1.44	
362	3	0%	0 - 15	<2.00	2 : 1	1	2	1.44	2.64
363	3	0%	0 - 15	<2.00	2 : 1	2	3	2.40	
364	3	10%	0 - 15	<2.00	2 : 1	2	1	0.05	
365	3	10%	0 - 15	<2.00	2 : 1	2	2	0.05	0.05
366	3	10%	0 - 15	<2.00	2 : 1	3	3	0.05	
367	3	30%	0 - 15	<2.00	2 : 1	3	1	0.48	
368	3	30%	0 - 15	<2.00	2 : 1	3	2	0.48	0.48
369	3	30%	0 - 15	<2.00	2 : 1	4	3	0.48	
370	3	50%	0 - 15	<2.00	2 : 1	4	1	0.05	
371	3	50%	0 - 15	<2.00	2 : 1	4	2	0.05	0.05
372	3	50%	0 - 15	<2.00	2 : 1	5	3	0.05	
373	3	70%	0 - 15	<2.00	2 : 1	5	1	0.48	
374	3	70%	0 - 15	<2.00	2 : 1	5	2	0.48	0.48
375	3	70%	0 - 15	<2.00	2 : 1	1	3	0.48	
376	3	0%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	1	1	22.54	
377	3	0%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	1	2	22.74	22.54
378	3	0%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	2	3	22.35	
379	3	10%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	2	1	0.78	0.78
380	3	10%	0 - 15	2.00 - 1.00	2 : 1	2	2	1.17	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
381	3	10%	0 - 15	2.00 – 1.00	2 : 1	3	3	0.39	
382	3	30%	0 - 15	2.00 – 1.00	2 : 1	3	1	13.13	
383	3	30%	0 - 15	2.00 – 1.00	2 : 1	3	2	7.45	10.29
384	3	30%	0 - 15	2.00 – 1.00	2 : 1	4	3	10.29	
385	3	50%	0 - 15	2.00 – 1.00	2 : 1	4	1	20.80	
386	3	50%	0 - 15	2.00 – 1.00	2 : 1	4	2	18.90	20.80
387	3	50%	0 - 15	2.00 – 1.00	2 : 1	5	3	22.70	
388	3	70%	0 - 15	2.00 – 1.00	2 : 1	5	1	7.15	
389	3	70%	0 - 15	2.00 – 1.00	2 : 1	5	2	8.62	7.15
390	3	70%	0 - 15	2.00 – 1.00	2 : 1	1	3	5.68	
391	3	0%	0 - 15	1.00 – 0.5	2 : 1	1	1	33.23	
392	3	0%	0 - 15	1.00 – 0.5	2 : 1	1	2	32.04	23.04
393	3	0%	0 - 15	1.00 – 0.5	2 : 1	2	3	30.86	
394	3	10%	0 - 15	1.00 – 0.5	2 : 1	2	1	0.05	
395	3	10%	0 - 15	1.00 – 0.5	2 : 1	2	2	0.05	0.05
396	3	10%	0 - 15	1.00 – 0.5	2 : 1	3	3	0.05	
397	3	30%	0 - 15	1.00 – 0.5	2 : 1	3	1	0.05	
398	3	30%	0 - 15	1.00 – 0.5	2 : 1	3	2	0.05	0.05
399	3	30%	0 - 15	1.00 – 0.5	2 : 1	4	3	0.05	
400	3	50%	0 - 15	1.00 – 0.5	2 : 1	4	1	24.38	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
401	3	50%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	4	2	28.24	26.31
402	3	50%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	5	3	26.31	
403	3	70%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	5	1	0.05	
404	3	70%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	5	2	0.05	0.05
405	3	70%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	1	3	0.05	
406	3	0%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	1	1	25.38	
407	3	0%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	1	2	24.87	24.34
408	3	0%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	2	3	22.79	
409	3	10%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	2	1	1.06	
410	3	10%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	2	2	2.07	1.56
411	3	10%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	3	3	1.56	
412	3	30%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	3	1	3.62	
413	3	30%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	3	2	2.59	3.79
414	3	30%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	4	3	5.18	
415	3	50%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	4	1	15.85	
416	3	50%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	4	2	13.36	14.60
417	3	50%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	5	3	14.61	
418	3	70%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	5	1	4.91	
419	3	70%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	5	2	5.69	4.89
420	3	70%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	1	3	4.14	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
401	3	50%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	4	2	28.24	26.31
402	3	50%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	5	3	26.31	
403	3	70%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	5	1	0.05	
404	3	70%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	5	2	0.05	0.05
405	3	70%	0 - 15	1.00 - 0.5	2 : 1	1	3	0.05	
406	3	0%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	1	1	25.38	
407	3	0%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	1	2	24.87	24.34
408	3	0%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	2	3	22.79	
409	3	10%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	2	1	1.06	
410	3	10%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	2	2	2.07	1.56
411	3	10%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	3	3	1.56	
412	3	30%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	3	1	3.62	
413	3	30%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	3	2	2.59	3.79
414	3	30%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	4	3	5.18	
415	3	50%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	4	1	15.85	
416	3	50%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	4	2	13.36	14.60
417	3	50%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	5	3	14.61	
418	3	70%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	5	1	4.91	
419	3	70%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	5	2	5.69	4.89
420	3	70%	0 - 15	0.5 - 0.25	2 : 1	1	3	4.14	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
421	3	0%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	1	1	14.87	
422	3	0%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	1	2	14.63	14.87
423	3	0%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	2	3	15.12	
424	3	10%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	2	1	2.92	
425	3	10%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	2	2	4.87	3.89
426	3	10%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	3	3	3.90	
427	3	30%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	3	1	2.92	
428	3	30%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	3	2	2.43	2.67
429	3	30%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	4	3	2.67	
430	3	50%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	4	1	45.22	
431	3	50%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	4	2	45.75	45.48
432	3	50%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	5	3	45.48	
433	3	70%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	5	1	4.87	
434	3	70%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	5	2	4.87	4.54
435	3	70%	0 - 15	0.25 - 0.106	2 : 1	1	3	3.90	
436	3	0%	0 - 15	<0.106	2 : 1	1	1	14.67	
437	3	0%	0 - 15	<0.106	2 : 1	1	2	14.90	14.90
438	3	0%	0 - 15	<0.106	2 : 1	2	3	15.13	
439	3	10%	0 - 15	<0.106	2 : 1	2	1	0.91	0.91
440	3	10%	0 - 15	<0.106	2 : 1	2	2	0.91	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
441	3	10%	0 - 15	<0.106	2 : 1	3	3	0.91	
442	3	30%	0 - 15	<0.106	2 : 1	3	1	1.60	
443	3	30%	0 - 15	<0.106	2 : 1	3	2	1.37	1.60
444	3	30%	0 - 15	<0.106	2 : 1	4	3	1.83	
445	3	50%	0 - 15	<0.106	2 : 1	4	1	17.56	
446	3	50%	0 - 15	<0.106	2 : 1	4	2	17.52	14.23
447	3	50%	0 - 15	<0.106	2 : 1	5	3	17.61	
448	3	70%	0 - 15	<0.106	2 : 1	5	1	1.60	
449	3	70%	0 - 15	<0.106	2 : 1	5	2	1.83	1.60
450	3	70%	15 - 30	<0.106	2 : 1	1	3	1.37	
451	3	0%	15 - 30	<2.00	2 : 1	1	1	4.08	
452	3	0%	15 - 30	<2.00	2 : 1	1	2	5.44	4.53
453	3	0%	15 - 30	<2.00	2 : 1	2	3	4.08	
454	3	10%	15 - 30	<2.00	2 : 1	2	1	2.72	
455	3	10%	15 - 30	<2.00	2 : 1	2	2	2.72	2.26
456	3	10%	15 - 30	<2.00	2 : 1	3	3	1.36	
457	3	30%	15 - 30	<2.00	2 : 1	3	1	2.72	
458	3	30%	15 - 30	<2.00	2 : 1	3	2	2.72	2.72
459	3	30%	15 - 30	<2.00	2 : 1	4	3	2.72	
460	3	50%	15 - 30	<2.00	2 : 1	4	1	0.05	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
461	3	50%	15 - 30	<2.00	2 : 1	4	2	0.05	0.05
462	3	50%	15 - 30	<2.00	2 : 1	5	3	0.05	
463	3	70%	15 - 30	<2.00	2 : 1	5	1	1.36	
464	3	70%	15 - 30	<2.00	2 : 1	5	2	1.36	1.36
465	3	70%	15 - 30	<2.00	2 : 1	1	3	1.36	
466	3	0%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	1	1	7.40	
467	3	0%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	1	2	6.34	7.40
468	3	0%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	2	3	8.46	
469	3	10%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	2	1	2.11	
470	3	10%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	2	2	3.17	2.64
471	3	10%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	3	3	2.64	
472	3	30%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	3	1	1.05	
473	3	30%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	3	2	1.05	1.05
474	3	30%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	4	3	1.05	
475	3	50%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	4	1	20.21	
476	3	50%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	4	2	21.18	21.18
477	3	50%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	5	3	22.16	
478	3	70%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	5	1	2.11	
479	3	70%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	5	2	1.05	1.58
480	3	70%	15 - 30	2.00 - 1.00	2 : 1	1	3	1.58	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
481	3	0%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	1	1	2.77	
482	3	0%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	1	2	1.85	2.15
483	3	0%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	2	3	1.85	
484	3	10%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	2	1	0.05	
485	3	10%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	2	2	0.05	0.05
486	3	10%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	3	3	0.05	
487	3	30%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	3	1	0.05	
488	3	30%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	3	2	0.05	0.05
489	3	30%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	4	3	0.05	
490	3	50%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	4	1	16.57	
491	3	50%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	4	2	15.37	16.19
492	3	50%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	5	3	16.63	
493	3	70%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	5	1	0.05	
494	3	70%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	5	2	0.05	0.05
495	3	70%	15 - 30	1.00 - 0.5	2 : 1	1	3	0.05	
496	3	0%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	1	1	0.92	
497	3	0%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	1	2	0.92	0.92
498	3	0%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	2	3	0.92	
499	3	10%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	2	1	13.95	
500	3	10%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	2	2	14.72	14.72

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
501	3	10%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	3	3	15.50	
502	3	30%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	3	1	0.05	
503	3	30%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	3	2	0.05	0.05
504	3	30%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	4	3	0.05	
505	3	50%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	4	1	27.20	
506	3	50%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	4	2	28.37	27.20
507	3	50%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	5	3	26.04	
508	3	70%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	5	1	0.05	
509	3	70%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	5	2	0.05	0.05
510	3	70%	15 - 30	0.5 - 0.25	2 : 1	1	3	0.05	
511	3	0%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	1	1	0.05	
512	3	0%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	1	2	0.05	0.05
513	3	0%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	2	3	0.05	
514	3	10%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	2	1	1.12	
515	3	10%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	2	2	1.68	1.68
516	3	10%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	3	3	2.24	
517	3	30%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	3	1	5.61	
518	3	30%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	3	2	4.49	5.61
519	3	30%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	4	3	6.74	
520	3	50%	15 - 30	0.25 - 0.106	2 : 1	4	1	20.33	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	จุดที่	ความถี่	ความลึก	ขนาดอนุภาค (mm)	สัดส่วน (L/S)	treatment	replicate	%Removal	เฉลี่ย
521	3	50%	15 - 30	0.25 – 0.106	2 : 1	4	2	21.68	21.08
522	3	50%	15 - 30	0.25 – 0.106	2 : 1	5	3	21.23	
523	3	70%	15 - 30	0.25 – 0.106	2 : 1	5	1	4.49	
524	3	70%	15 - 30	0.25 – 0.106	2 : 1	5	2	4.49	4.49
525	3	70%	15 - 30	0.25 – 0.106	2 : 1	1	3	4.49	
526	3	0%	15 - 30	<0.106	2 : 1	1	1	9.16	
527	3	0%	15 - 30	<0.106	2 : 1	1	2	6.66	7.77
528	3	0%	15 - 30	<0.106	2 : 1	2	3	7.50	
529	3	10%	15 - 30	<0.106	2 : 1	2	1	0.83	
530	3	10%	15 - 30	<0.106	2 : 1	2	2	0.83	0.83
531	3	10%	15 - 30	<0.106	2 : 1	3	3	0.83	
532	3	30%	15 - 30	<0.106	2 : 1	3	1	0.08	
533	3	30%	15 - 30	<0.106	2 : 1	3	2	0.08	0.08
534	3	30%	15 - 30	<0.106	2 : 1	4	3	0.08	
535	3	50%	15 - 30	<0.106	2 : 1	4	1	14.41	
536	3	50%	15 - 30	<0.106	2 : 1	4	2	14.08	14.38
537	3	50%	15 - 30	<0.106	2 : 1	5	3	14.66	
538	3	70%	15 - 30	<0.106	2 : 1	5	1	0.05	
539	3	70%	15 - 30	<0.106	2 : 1	5	2	0.05	0.05
540	3	70%	15 - 30	<0.106	2 : 1	5	3	0.05	