ปัญหาพิเศษ

ผลของระยะเวลาในการใช้ Ultrasonic ร่วมกับเทคนิคการล้างดินในการกำจัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

The Effect of Retention Time of Ultrasonic which Combinated to Soil Washing Technique for Cadmium Removal from Contaminated Soils Using EDTA as Washing Solution

นางสาวเสาวลักษณ์ บุญหา

หลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร 10520

ปีการศึกษา 2552

12358891

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี
หลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

เรื่อง ผลของระยะเวลาในการใช้ Untrasonic ร่วมกับเทคนิคการล้างดินใน การกำจัดที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

The Effect of Retention Time of Ultrasonic which Combinated to Soil Washing Technique for Cadmium Removal from Contaminated Soils Using EDTA as Washing Solution

โดย นางสาวเสาวลักษณ์ บุญหา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล ถวิลถึง)

หลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม รับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ ลีสนอง)

ประธานกรรมการบริหารหลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

วันที่ 22 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

ผลของระยะเวลาในการใช้ Ultrasonic ร่วมกับเทคนิคการล้างดินในการกำจัดดิน
ที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

The Effect of Retention Time of Ultrasonic which Combinated to Soil Washing Technique for Cadmium Removal from Contaminated Soils Using EDTA as Washing Solution

เรื่อง

โดย

นางสาวเสาวลักษณ์ บุญหา

เสนอ

หลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม)
ปีการศึกษา 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง	ผลของระยะเวลาในการใช้ Untrasonic ร่วมกับเทคนิคการล้างดินในการกำจัดที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด The Effect of Retention Time of Ultrasonic which Combinated to Soil Washing Technique for Cadmium Removal from Contaminated Soils Using EDTA as Washing Solution
โดย	นางสาวเสาวลักษณ์ บุญหา
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม)
หลักสูตร	การจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม
คณะ	เทคโนโลยีการเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล ถวิลถึง

บทคัดย่อ

การศึกษาการกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาสกัดอีดีทีเอ (EDTA) โดยใช้เทคนิคการล้างดินร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค โดยเก็บดิน 3 จุดจากบริเวณบ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (จุดที่ 1 แปลงนาติดกับลำห้วยแม่ตาว,จุดที่ 2 ติดหมู่บ้านพะเด๊ะ และจุดที่ 3 แปลงข้าวโพดห่างจากลำห้วยแม่ตาวประมาณ 100 เมตร) ซึ่งดินแต่ละจุดจะทำการเก็บตัวอย่างดิน ที่ 2 ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. นำมาทดสอบการบำบัดดินโดยเก็บจุดละ 100 กิโลกรัม แบ่งเป็น 0-15 ซม. 50 กิโลกรัม และ 15-30 ซม. 50 กิโลกรัม ทำการแยกขนาดขนาดอนุภาคโดยร่อนผ่านเครื่องแยกขนาดอนุภาคเป็น 5 ขนาดดังนี้ 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.5-1.00 มิลลิเมตร , 0.25-0.5 มิลลิเมตร , 0.106-0.25 มิลลิเมตร และ <0.106 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างดินตามระดับความลึก โดยการเจาะดิน 5 ระดับ คือ 0-15 ซม. ,15-30 ซม. ,30-50 ซม. ,50-70 ซม. และ 70-100 ซม.โดยเก็บดิน 1 กิโลกรัมในแต่ระดับความลึก เพื่อศึกษาการสะสมแคดเมียมในดินหลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน และทำการสกัดแคดเมียมออกจากดินด้วยน้ำยาสกัดอีดีทีเอ (EDTA) โดยใช้เทคนิคการล้างดิน (Soil washing) ร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค ซึ่งใช้สัดส่วนระหว่างดินต่อน้ำยาสกัดสำหรับอนุภาคขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร , 0.5-1.00 มิลลิเมตร , 0.25-0.5 มิลลิเมตร , 0.106-0.25 มิลลิเมตร ,<0.106 มิลลิเมตร ใช้สัดส่วน (2:1) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ตำรับ คือ การใช้อีดีทีเอร่วมกับการเขย่า (ตำรับที่ 1) ,การใช้อีดีทีเอและเขย่าร่วมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) ,การใช้อีดีทีเอและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) ,และการใช้อีดีทีเอและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) เพื่อศึกษาการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม โดยใช้วิธีการล้างดิน (Soil Washing) ร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิคได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

จากการทดลองพบว่าดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง,ดินร่วนเหนียว,ดินร่วนปนทราย และดินร่วน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) พบว่ามีความเป็นด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง และดินบางจุดมีความเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลางและดินไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ,อยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงสูง ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable base) พบว่า Ca มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก Mg มีต่ำค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูง K มีค่าอยู่ช่วงต่ำมากถึงปานกลาง และ Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก และค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก ส่วนประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินด้วยน้ำยาสกัดอีดีทีเอ (EDTA) โดยใช้เทคนิคการล้างดินร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิคได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดจะเห็นได้ว่า จะแตกต่างกันในแต่ละการทดลองทั้งในดินบนและดินล่าง ซึ่งพบว่าการใช้น้ำยาอีดีทีเอและเขย่าร่วมกับอุลตร้าโซนิค 0 นาที ตำรับที่ 1 มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุดในดินบน ของดินจุดที่ 1 ทั้งดินบนและดินล่าง สามารถสกัดแคดเมียมออกมาได้ 15.73, 9.84% ตามลำดับ ในตำรับที่ 3 น้ำยาสกัดอีดีทีเอและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที สามารถสกัดออกมาได้มากที่สุด 35.44 % ในดินบนจุดที่ 2 และดินล่างของดินจุดที่ 2 พบว่าตำรับที่ 2 น้ำยาสกัดอีดีทีเอสามารถสกัดออกมาได้มากที่สุด 4.57% และดินจุดที่ 3 ทั้งดินบนและดินล่าง พบว่า ตำรับที่ 2 น้ำยาสกัดอีดีทีเอสามารถสกัดออกมาได้มากที่สุด 45.48 และ 92.40 % จากการทดลองพบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอสามารถสกัดแคดเมียมออกมาได้พียงเล็กน้อย ส่วนการใช้อุลตร้าโซนิคเข้าช่วยในการสกัดร่วมด้วยน้ำยาสกัดอีดีทีเอสามารถที่จะสกัดแคดเมียมออกมาได้เพิ่มขึ้นในดินจุดที่ 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ปัญหาพิเศษปริญญาตรีฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.นุกูล ถวิลถึง สทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่ได้ให้โอกา

ขอขอบคุณ คุณนารี พันธุ์จินดาวรรณ ที่กรุณาช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์ต่างๆในห้องปฏิบัติการ

ขอบขอบคุณนางสาววิจิตรพร เจริญรัตน์ นายเอกภพ เกื้อมณี นายธนบัตร ซอหิรัญ นายอุทาน ยืนนาน นายฉัตรชัย เดชดำรง นายธนาธร แผ้วศรี ที่ร่วมทำงานต่างๆและคอยให้ความช่วยเหลือต่างๆจนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้กำลังใจและคำปรึกษาที่ดีตลอดมา

ในการทำปัญหาพิเศษปริญญาตรีฉบับนี้ หากมีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้าขออภัยในข้อผิดพลาดดังกล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวเสาวลักษณ์ บุญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ง
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	24
ผลการทดลอง	38
สรุปผลการทดลอง	64
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติของสารคีเลตติ้งที่สำคัญ	8
2	ปริมาณแคดเมียมในดินที่ปนเปื้อน (ppm)	14
3	ปริมาณแคดเมียมในพืชบริเวณที่มีการปนเปื้อน (ppm นน.แห้ง)	15
4	ปริมาณแคดเมียมที่ร่างกายได้รับ	19
5	ปริมาณอนุภาคดินที่ผ่านการแยกอนุภาค	38
6	คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 1	41
7	คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 2	41
8	คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 3	42
9	คุณสมบัติทางกายภาพของดิน	43
10	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 1 ดินบน (0-15 ซม.)โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด	46
11	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 ซม.)โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด	49
12	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 2 ดินบน (0-15 ซม.)โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด	52
13	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 ซม.)โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด	55
14	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 3 ดินบน (0-15 ซม.)โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด	58
15	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 ซม.)โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด	61
16	ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้ง 3 จุดในการพิจารณาระดับการปนเปื้อน	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	ปริมาณแคดเมียมในดินหลังผ่านการบำบัดด้วยเทคนิคการล้างดินร่วมกับการใช้ระบบอุลตร้าโซนิค	63

ตารางผนวกที่

1	แสดงค่าวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแต่ละจุด (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+})	69
2	แสดงปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ จากการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิคในดินจุดที่ 1	70
3	แสดงปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ จากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิคในดินจุดที่ 2	72
4	แสดงปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ จากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิคในดินจุดที่ 3	74
5	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 1	76
6	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 2	81
7	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRTด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 3	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน	26
2	แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน	34
3	แสดงขั้นตอนการสกัดแคดเมียมออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน(Soil washing)	35
4	แสดงขั้นตอนการสกัดแคดเมียมออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน(Soil washing) ร่วมกับระบบอุลตร้าโซนิค	36
5	ปริมาณอนุภาคดินแยกตามขนาดอนุภาค	39
6	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15ซม.) โดยการใช้EDTA และอุลตร้าโซนิค	46
7	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30ซม.) โดยการใช้EDTA และอุลตร้าโซนิค	49
8	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15ซม.) โดยการใช้EDTA และอุลตร้าโซนิค	52
9	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30ซม.) โดยการใช้EDTA และอุลตร้าโซนิค	55
10	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15ซม.) โดยการใช้EDTA และอุลตร้าโซนิค	58
11	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30ซม.) โดยการใช้EDTA และอุลตร้าโซนิค	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
1	เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)	91
2	เครื่องอุลตร้าโซนิค(Ultrasonic)	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีปริมาณน้อย คือพบบนผิวโลกประมาณ 0.15-0.20 ไมโครกรัมต่อกรัม พบในรูปสินแร่สังกะสีร้อยละ 0.3-1.0 ในหินแกรนิตมีแคดเมียมน้อยกว่า1 ไมโครกรัม หินชั้นมีแคดเมียมสูงถึง 11 ไมโครกรัมต่อกรัม ปริมาณแคดเมียมในน้ำและดินตะกอนตะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะแหล่งกำเนิดและสภาวะแวดล้อม ค่าพีเอช ดินเหนียวและดินที่เป็นเบสดูดซับแคดเมียมในรูปคาร์บอนที่ละลายน้ำได้มก ส่วนดินทรายและดินที่เป็นกรดดูดซับแคดเมียมได้น้อย

การนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ได้เพิ่มปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากข้อมูลการใช้แคดเมียมทั่วโลกในปี ค.ศ.1960 มีปริมาณ 11,000 ตัน เพิ่มเป็น 19,000 ตัน ในปี ค.ศ.1985 (Alloway ,1995) โดยแคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆและสินค้าอุปโภคโดยแคดเมียมจะถูกใช้ประโยชน์ในหลายๆด้าน เช่น อัลลอยด์ของทองแดงและตะกั่ว อุตสาหกรรมเพชร พลอย และเครื่องประดับอัญมณีต่างๆใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิลเป็น Cd-Ni battery ซึ่งนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แฟรชถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด นาฬิกา และวิทยุเล็กๆ ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรมสารประกอบแคดเมียมซัลไฟด์และแคดเมียมซัลโฟซีลไนด์ใช้ในการให้สีในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สีอินาเมล เซรามิก ยาง แก้ว ผ้า เส้นใย หนัง หมึกพิมพ์และพลาสติก ใช้ในกิจกรรมอื่นๆ เช่นใช้ในสารฆ่าเชื้อรา ที่ใช้ในกิจการเกษตร ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นตัวควบคุมอัตราการแตกตัวของนิวเคลียร์ ใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องทนความร้อน เช่นทำหม้อน้ำรถยนต์ อุปกรณ์ทำความเย็นต่างๆที่ต้องระบายความร้อนมากๆ จากการที่แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภคบริโภคดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้โลหะแคดเมียมเกิดการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศและในอาหาร ทำให้เราได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางโดยไม่รู้ตัว คนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจติดปะปนมากับพืชผัก ผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร แคดเมียมอาจจะละลายอยู่ในน้ำที่เราดื่ม และได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นแคดเมียมฟุ้งกระจายอยู่ โดยเฉพาะในแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่นโรงงานทำแบตเตอรี่ หรือบริเวณที่เป็นเหมืองทำแร่ สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง ที่มักมีแคดเมียมปนอยู่ การถลุงแร่สังกะสีจะทำให้แคดเมียมฟุ้งกระจายในอากาศและลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้อุตสาหกรรมการเคลือบโลหะ การผลิตสีผสมพลาสติกและสีทาบ้าน จะมีโลหะนี้ปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมด้วย แคดเมียมอยู่ในร่างกายได้นานเป็นสิบปี มักไปสะสมที่ตับ และไต อาการพิษที่เกิดจากการบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนแคดเมียมพบไม่มาก การป้องกันทำได้หลายด้าน เช่น กำหนดปริมาณแคดเมียมในของเสียจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงงาน กำหนดปริมาณในภาชนะและวัสดุที่ใช้สัมผัสหรือห่อ การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างการเราได้อีกด้วย ซึ่งเป็นผลเสียต่อร่างกายทั้งแบบเฉียบพลัน และเรื้องรัง โดยแคดเมียมจะเข้าไปทำลายระบบทางเดินอาหาร ระบบหายใจ พิษต่อไต พิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจและระบบการสร้างเม็ดโลหิต พิษที่กระดูกที่ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรค อิไต อิไต โรคชนิดนี้เป็นโรคกระดูกผุ คือกระดูกจะพรุน กระดูกโก่ง งอโค้งได้ จะทำให้กระดูกเสียรูปทรง แตกร้าว และหักได้ เนื่องจากร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง

ในประเทศไทยพบมีการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ อ.แม่สอด จ.ตาก ซึ่งมีรายงานจากนักวิจัยต่างชาติจากสถาบันคุณภาพน้ำ (International Water Management Institute-IMWI) ที่ได้ร่วมมือกับนักวิชาการจากกรมวิชาการเกษตร (Department of Agricuture : DOC) ภายใต้โครงการความร่วมมือ IWMI-DOA Collaborative Project 1998-2003 ทำการตรวจวัดระดับสารแคดเมียมในดินและข้าว บริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก รวมทั้งศึกษาแหล่งกำเนิดสารแคดเมียม ระหว่างปี พ.ศ. 2541-2546 การศึกษาในช่วงแรกได้รายงานว่าในแปลงนาบริเวณบ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง ซึ่งอยู่ใกล้บริเวณแหล่งแร่สังกะสี ของอำเภอแม่สอด พบว่ามีปริมาณสารแคดเมียมในดิน (154 ตัวอย่าง) จำนวน 3.4-284 มิลลิกรัม/ดิน 1 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานสมาคมเศรษฐกิจยุโรป (EEC) กำหนดไว้ไม่เกิน 3 มิลลิกรัม/ ดิน 1 กิโลกรัม และพบว่าร้อยละ 90 ของข้าวที่สุ่มตรวจ มีปริมาณแคดเมียม 0.1-4.4 มิลลิกรัม/ ดิน 1 กิโลกรัม ซึ่งเปรียบเทียบกับข้าวที่ปลูกบริเวณอื่น มีปริมาณแคดเมียมเพียง 0.043 มิลลิกรัม/ ดิน 1 กิโลกรัม ซึ่งปริมาณสารแคดเมียมที่พบนี้มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับข้าวที่ก่อให้เกิดโรคอิไต-อิไต ในประเทศญี่ปุ่น หากบริโภคติดต่อกัน เป็นเวลานาน ส่วนการศึกษาช่วงที่สอง ได้ขยายพื้นที่ศึกษาจากช่วงแรกมาตามลำห้วยบริเวณตำบลพระธาตุผาแดงและตำบลแม่ตาว พบปริมาณแคดเมียมในดินมาก สูงกว่าค่ามาตรฐานประชาคมเศรษฐกิจยุโรปถึง 72 เท่า (0.46-218 มิลลิกรัม/ดิน 1 กิโลกรัม) (คะนึงนิจและฉันทนา, 2548)

การบำบัดที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว รวมถึงแคดเมียม มีอยู่หลายวิธี และวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมคือ วิธีการล้างดิน (Soil Washing) โดยใช้น้ำยา EDTA นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์พยายามใช้น้ำยาสกัดอื่นๆ เช่น $CaCl_2$, $Na\ Cl_2$, $Mg\ Cl_2$, KCl และการทดลองในครั้งนี้ได้พยายามหาวิธีการล้างดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยใช้ EDTA ร่วมกับเทคนิคอื่นๆ เช่น Ultrasonic Processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการหาระยะเวลาที่เหมาะสมระหว่างน้ำยาสกัดต่อดิน ในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินโดยใช้เทคนิควิธีการล้างดินในการบำบัด ซึ่งใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

1. สภาพบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา

ข้อมูลทั่วไป

ตำบลพระธาตุผาแดง เป็นตำบลที่ตั้งอยู่ในเขตการปกครองของอำเภอแม่สอดอำเภอแม่สอด มีจำนวนหมู่บ้านทั้งสิ้น 6 หมู่บ้าน ได้แก่ หมู่ที่ 1 บ้านค้างภิบาล, หมู่ที่ 2 บ้านหัวฝาย, หมู่ที่ 3 บ้านแม่ดาวใหม่, หมู่ที่ 4 บ้านพะเต๊ะ, หมู่ที่ 5 บ้านถ้ำเสือ, หมู่ที่ 6 บ้านขุนห้วยแม่สอด สภาพทั่วไปของตำบลพระธาตุผาแดง ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของที่ว่าการอำเภอแม่สอด ประมาณ 5 กิโลเมตร ห่างจากตัวจังหวัด 95 กิโลเมตร อาณาเขตของตำบล

ทิศเหนือติดกับตำบลแม่ปะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ทิศใต้ติดกับตำบลแม่กุ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ทิศตะวันออกติดกับตำบลพระวอ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ทิศตะวันตกติดกับตำบลแม่ตาว และตำบลแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

จำนวนประชากรของตำบล และจำนวนประชากรในเขต อบต. 5,499 คน และจำนวนบ้านเรือน 1,837 หลังคาเรือน อาชีพของตำบล อาชีพหลักส่วนใหญ่ของชาวบ้านในตำบลจะมีอาชีพทำนา อาชีพเสริมคือ รับจ้างทั่วไป

2. ธรณีวิทยาของตำบลพระธาตุผาแดง

ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ตำบลพระธาตุผาแดงจะเป็นแนวเดียวกันตั้งแต่ภาคเหนือตอนบนได้แก่ จังหวัดแม่ฮ่องสอนทอดยาวมายังอำเภอแม่สอดจังหวัดตาก จนถึงทิศตะวันตกของประเทศไทย คืออำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งรวมรียกว่า " ธรณีวิทยาแนวแม่ฮ่องสอน - แม่สอด - ทองผาภูมิ " โดยชั้นหินที่สำคัญในแนวนี้ประกอบด้วยหินยุคไซลูเรียน - ดีโวเนียน - คาร์บอนิกเฟอรัส ส่วนใหญ่ได้แก่ หินเชิร์ต หินดินดาน หินทราย สลับชั้นกับชั้นหินปูน โดยมีหินทรายแดงและหินกรวดมนคาร์บอนิคเฟอรัสวางตัวอยู่บนแนวเทือกเขาต่อลงมาทางใต้ในเขตอำเภอทองผาภูมิ พบหินส่วนใหญ่เป็นหินตะกอน หินอัคนีและหินแปรเพียงเล็กน้อย ซึ่งเชื่อว่าเป็นหินยุคแคมเบรียน พบเป็นแนวยาวอยู่สองบริเวณคือ บริเวณน้ำตกคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร และแนวระหว่างลำน้ำแควใหญ่กับแควน้อย ช่วงระหว่างอำเภอศรีสวัสดิ์ กับอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี โดยต่อเนื่องลงมาตามแนวลำน้ำแควใหญ่ถึงบริเวณด้านใต้ของอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นหินปูนและหินตะกอนมหายุคพาลีโอโซอิกตอนล่าง ยุคออร์โดวินเชียน - ดีโวเนียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ถูกแปรสภาพขั้นต่ำไม่รุนแรงมากนัก ส่วนหินยุคดีโวเนียน - คาร์บอนิค ฟอสฟอรัส พบอยู่บริเวณด้านตะวันตกของลำน้ำแควน้อยต่อเนื่องลงไปทางใต้ ลักษณะประการหนึ่งในพื้นที่นี้คือมีหินปูนยุคเพอร์เมียน หินทรายและหินทรายแป้งสีแดงที่เกิดจากการสะสมตัวในทะเลมหายุคมีโซโซอิกแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างขึ้นไปถึงเขตอำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก (ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรธรณี, 2548)

2.1 สายแร่ของตำบลพระธาตุผาแดง

เนื่องจากแคดเมียมมีคุณสมบัติเหมือนแร่สังกะสีจึงทำให้พบธาตุทั้งสองชนิดอยู่ด้วยกันในธรรมชาติซึ่งสังกะสีจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบแต่แคดเมียมเป็นสารพิษจึงไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ สำหรับประเทศไทยพบแร่สังกะสีหลายแห่งแต่ส่วนใหญ่จะพบว่ามีปริมาณเพียงเล็กน้อยที่พบเป็นแหล่งใหญ่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจซึ่งได้ดำเนินโครงการทำเหมือง และมีการผลิตในปัจจุบันได้แก่ แหล่งสังกะสีผาแดง อ.แม่สอด จ.ตาก ส่วนบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่สังกะสีที่น่าสนใจได้แก่ บริเวณด้านตะวันตกของประเทศไทย ตั้งแต่จังหวัดแม่ฮ่องสอนลงมาจนถึงจังหวัดเพชรบุรี โดยมีบริเวณสำคัญๆเช่น อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี (ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรธรณี, 2548)

2.2 การปนเปื้อนในดินในบริเวณที่ทำการศึกษา

บริเวณที่ได้ทำการศึกษาต่อคือ บ้านพะเต๊าะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นอำเภอหนึ่งทางตอนกลางของจังหวัดตาก ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการปนเปื้อนจะอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาว ซึ่งการปนเปื้อนนี้เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ คือมีการทำเหมืองแร่สังกะสีบริเวณยอดเขาซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแหล่งนี่สำคัญที่ใช้ในการอุปโภค บริโภค และการเกษตรกรรมในพื้นที่ดังกล่าวเนื่องจากแคดเมียมมีสมบัติใกล้เคียงกับสังกะสีทุกประการซึ่งมักอยู่รวมกับกำมะถันเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) มีสีเหลืองและมักปนอยู่กับแร่สังกะสีซัลไฟด์เมื่อมีการปิดหน้าดินจากการทำเหมืองจึงทำให้แคดเมียมปะปนออกมาจากการชะล้างของน้ำฝนและไหลลงสู่ลำห้วยแม่ตาวในรูปของดินตะกอนซึ่งผลการศึกษาขององค์กรนานาชาติ IWMI พบว่าในพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณแร่แคดเมียมในดินเกินมาตรฐานสูงมากที่ส่งผลต่อสุขภาพประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวจากการตรวจสอบดินในนาจำนวน 154 แปลง พบแคดเมียมอยู่ในช่วง 3.4-284 มิลลิกรัมแคดเมียม/กก. ของดิน ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของยุโรปที่กำหนดไว้ 3 มิลลิกรัมแคดเมียม/กก.ของดิน ซึ่งค่าแคดเมียมที่ตรวจพบจึงเกินกว่ามาตรฐานถึง 1.13-94 เท่า โดยธรรมชาติแคดเมียมที่อยู่ในตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินหากมีค่าความเป็นกรด – ด่างมากกว่า 7.7 จะอยู่ในรูป $Cd_3(PO_4)^2$ และจะอยู่ในรูป $CdCO_3$ เมื่อมีค่าความเป็นกรด – ด่างน้อยกว่า 7.7 (Sadiq,1992) หลังจากนั้นก็จะปะปนไปกับกระแสน้ำในลำห้วยจนถึงบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมที่เกิดปัญหาเมื่อเกษตรกรทำการปลูกข้าวแคดเมียมที่สะสมอยู่ในดินก็จะถูกดูดดึงขึ้นไปสะสมอยู่ในส่วนต่างๆของข้าวในรูปแคดเมียมอิออน (Cd^{2+}) ซึ่งจากการตรวจพืชผลทางการเกษตรพบว่ามีแคดเมียมในเม็ดข้าวถึง 0.1-44 มิลลิกรัมแคดเมียม/กก.ของข้าว สูงกว่าค่ามาตรฐานของไทยที่กำหนดไว้ที่ 0.043 มิลลิกรัมแคดเมียม/กก.ของข้าว รวมถึงกระเทียมสูงเกินมาตรฐานถึง126 เท่า ในถั่วเหลืองเกินมาตรฐานของไทยที่กำหนดไว้ที่ 0.043 มิลลิกรัมแคดเมียม /กก.ของข้าว รวมถึงกระเทียมสูงเกินมาตรฐานถึง 126 เท่า ในถั่วเหลืองเกินมาตรฐาน 16 เท่า ซึ่งถือว่าสูงมากและเป็นอันตรายกับประชาชนในพื้นที่ดังกล่าว

3. การล้างดิน

การล้างดินเป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากดินผ่านตัวกลางในการชะล้างซึ่งเหมือนกับวิธีการใช้น้ำล้าง ในกระบวนการการล้างดินด้วยตัวสกัดนั้นสารละลายที่ใช้ล้างอาจเป็นสารละลายที่เป็นด่าง ได้แก่ สารกัดกร่อน ปูนขาว หินปูนที่แตกตัวด้วยน้ำ หรือในอุตสาหกรรมที่ใช้สารประกอบที่เป็นเบสในการล้างเป็นต้น สารละลายกรดได้แก่ ซัลฟูริก ไฮโดรคลอริก ไนตริก เป็นต้น หรือสารละลายที่มีความสามารถในการลดแรงตึงผิว หรือคีเลตติ้งเอเจนต์ พวกเปอร์ออกไซด์ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ หรือตัวออกซิไดซิงเอเจนต์อื่นๆ โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสิ่งปนเปื้อนอยู่ เบสแก่หรือสารละลายการลดแรงตึงผิว สามารถใช้ในการสกัดสารอินทรีย์และสารละลายกรดแก่ หรือสารคีเลตติ้งเอเจนต์ มีความสำคัญมากในการล้างดิน เพราะดินส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนภายในดิน ขึ้นอยู่กับขนาดของดิน ความพรุนดินและโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของดิน

กระบวนการจำกัดสารปนเปื้อนในดินแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆดังนี้

1. การสกัดด้วยน้ำซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการสกัดต่างๆซึ่งนิยมใช้ 3 ประเภทใหญ่ ดังนี้

1.1 การเติมสารลดแรงตึงผิวเพื่อเพิ่มการละลายของสารปนเปื้อนลงในน้ำ

1.2 การเติมสารคีเลตติ้งเอเจนต์ซึ่งเป็นตัวที่เข้าทำปฏิกิริยาทางเคมีกับโลหะและช่วยให้การละลายเกิดดีขึ้น

1.3 การเติมสารละลายกรดหรือด่าง เพื่อช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ทำให้เป็นกลางและทำลายสิ่งปนเปื้อนการล้างดินปกติจะใช้น้ำในการกำจัดสารเคมีหรือมลพิษออกจากดิน สารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้จะยึดเกาะหรือดูดซับกับอนุภาคซิลค์หรือเคลย์มากกว่าจะดูดซับกับอนุภาคทรายหรือดินลูกรัง

2. การใช้สารละลายสกัดสารปนเปื้อนของสารอินทรีย์ โดยสารอินทรีย์ที่ละลายได้จะเคลื่อนที่เข้าสู่สารละลายเข้าไปอยู่ในสารละลาย

3. สารที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยวิธีล้างดินมีหลายชนิดซึ่งแระสิทธิภาพจะแตกต่างกันออกไป ได้แก่ คีเลต คือสารที่มีความสามารถในการดูดยึดไอออนบวกบางชนิดให้มาอยู่ร่วมกันอย่างเหนียวแน่นโดยไม่ยอมให้ไอออนบวกอื่นเข้าทำปฏิกิริยาทำให้พวกไอออนบวกที่ถูกยึดอยู่ตกตะกอน เช่น การทำปฏิกิริยาของธาตุไอออนบวกกับไฮดรอกไซด์หรือซัลเฟตไอออนเป็นต้น

การกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดินโดยใช้สารประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงเนื่องจากสารดังกล่าวสามารถเกิดคีเลชั่นโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดินทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนแต่สารเหล่านี้มีราคาสูงจึงไม่นิยมใช้

3.1 การล้างดินด้วยสารประกอบรีดิวซิงเอเจนต์

กระบวนการรีดิวซิงเอเจนต์อาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชั้น โดยทำให้อิเล็กตรอนของรีดิวซิงเอเจนต์มีจำนวนลดลงซึ่งรีดิวซิงเอเจนต์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน และปฏิกิริยาจะแปรผันตามสารอินทรีย์และโลหะโดยทั่วไปสารประเภทรีดิวซิงเอเจนต์เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ เครื่องหนัง เป็นต้น เนื่องจากสารประกอบรีดิวซิงเอเจนต์นี้มีราคาถูกจึงนำมาใช้ในการล้างดินแต่ประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร ปัจจุบันจึงมีการนำสารดังกล่าวมาใช้ควบคู่กับรีดิวซิงเอเจนต์เพื่อประสิทธิภาพในการล้างดิน และลดต้นทุนในการกำจัดโลหะหนักออกจากดินและกากตะกอน การกำจัดสิ่งปนเปื้อนด้วยความร้อน นิยมใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้โดยใช้ไอน้ำหรืออากาศมาประยุกต์ใช้โดยความร้อนและสภาวะสุญญากาศหรือทั้งสองแบบมาช่วยเพิ่มอัตราการสกัด การขุดดินเป็นทางและการกำจัดทางกายภาพของดินเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสารปนเปื้อนในดิน รวมทั้งการตรึงโลหะหนักไว้ในดิน สามารถกำจัดโลหะหนักออกและลดปริมาณลงได้โดยกรตรึงไนโตรเจนให้อยู่กับที่โดยใช้พวกชีวภาพในการกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของสารคีเลตติ้งที่สำคัญ (Chelading agent)

Chelating Agent	MW	Acidity Constants					Metal Chelate log (Stability Constant)					
	g/mol	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4	pK_5	Cd	Zn	Cu	Pb	Mn^{2+}	Fe^{3+}
Nitrilotriacetic:cid (NTA)	191	1.8 9	2.4 9	9.7 3	-	-	10. 5	11. 2	13. 7	11. 8	8.1	17
Ethylenediaminetetra -aceticacid (EDTA)	292	2.0 8	3.0 1	6.4	10. 4	-	17. 5	17. 2	19. 7	17. 7	14.5	26.5
Diethylenetriamine-pentaacetic acid (DTPA)	93	2.0 8	2.8 1	4.4 9	8.7 3	10. 6	20. 1	19. 7	22. 6	21	16.7	29.2

ที่มา : Allen ,*et al.*,1995

4. แคดเมียม

4.1 ข้อมูลทั่วไป

แคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนักในหมู่ 2B ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับสังกะสีในตารางธาตุสัญลักษณ์ทางเคมี คือ Cd ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

เลขอะตอม	48
น้ำหนักอะตอม	112.4
ความหนาแน่น	8.65 ที่ 20^0C
จุดหลอมเหลว	321 ^{0}C
จุดเดือด	765 ^{0}C
Covalent radii	1.48×10^{-10} m

แคดเมียมเป็นโลหะอ่อนสีเงิน สามารถดัดและตีแผ่ได้ ละลายได้ในกรดทุกชนิด และละลายได้ดีใน สารละลายเข้มข้นแอมโมเนียมไนเตรท แคดเมียมไอออนไม่มีสีและมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +2 ในธรรมชาติจะพบแคดเมียมในรูปสินแร่ กรีนนอกไคท์ (Cds) และโอตาไวท์ ($CdCO_3$) โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะพบปะปนอยู่กับสินแร่โลหะซัลไฟด์อื่นๆ เช่น ตะกั่ว สังกะสีและทองแดง เมื่อเข้าสู่กระบวนการถลุงแร่แล้วจะได้สินแร่แคดเมียมซัลไฟด์ เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้โดยเฉพาะสินแร่สังกะสี เช่น Shalerite (ZnS)หรือ Calamine ($ZnCO_3$) จะพบแคดเมียมปะปนอยู่ประมาณร้อยละ 0.3-0.1 ออกมาถึง ร้อยละ 3 (ศุภมาศ, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคดเมียมพบกระจายอยู่ตามธรรมชาติในปริมาณที่น้อยแต่อาจพบมากในบางแหล่งที่มีการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ ความเข้มข้นของแคดเมียมในแหล่งน้ำจืดธรรมชาติน้อยกว่า 1 ไมโครกรัม/ลิตร ในน้ำทะเลพบแคดเมียมอยู่ระหว่าง 0.04-0.30 ไมโครกรัม/ลิตร สำหรับในดินมีแคดเมียมน้อยกว่า 1 ไมโครกรัม/กิโลกรัม นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าหินตะกอนมีแคดเมียมอยู่ในช่วง 2 ถึง 10 ppm. ซึ่งปริมาณแคดเมียมนี้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของดินสลายมาจากหินชนิดใด 0.1-1 ppm. และดินที่สลายจากหินตะกอนมีแคดเมียมประมาณ 0.3-11 ppm. (ฉัตรสินี, 2545)

4.2 แหล่งกำเนิด

แหล่งกำเนิด แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในธรรมชาติน้อย และหาค่อนข้างยากในสิ่งแวดล้อม เมื่อเทียบกับโลหะหนักอื่นๆ มักจะอยู่ในรูปของสารประกอบซัลไฟด์เป็นแคดเมียมซัลไฟด์ในรูปของแร่ greenockite (CdS) หรืออีกลักษณะหนึ่งคือปะปนในปริมาณน้อยอยู่กับแร่สังกะสีทุกชนิด ดังนั้นโลหะแคดเมียมส่วนใหญ่จึงเป็นผลิตผลพลอยได้จากการถลุงแร่สังกะสี แร่โลหะอื่นๆประมาณ 0.3-1.0 เปอร์เซ็นต์ ในเปลือกโลกมีแคดเมียมโดยเฉลี่ย 0.15-0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในหินแกรนิตและหินแปรมี แคดเมียมน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ในหินชั้นอาจมีแคดเมียมสูงถึง 11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือสูงกว่านี้ โดยมีมากในหินดินดาน (Shale) ที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ในดินตะกอนของทะเลสาบ ในก้อนแมงกานีสออกไซด์ ในมหาสมุทรและฟอสฟอไรต์ (Phosphorite) ในดินที่ยังไม่ถูกปนเปื้อนด้วยแคดเมียมจะมีปริมาณเฉลี่ยน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ปริมาณแคดเมียมในดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะและการกำเนิดของดิน ดินที่กำเนิดจากหินชั้นจะมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าดินที่กำเนิดจากหินอัคนีหรือหินแปร ดินเหนียวและดินที่เป็นเบสจะดูดซับแคดเมียมได้น้อยกว่า ซึ่งมีรายงานว่าเคยพบปริมาณแคดเมียมสูงกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งในน้ำธรรมชาติและน้ำประปา แคดเมียมในสิ่งแวดล้อมดังกล่าว จะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตในที่สุด แต่แคดเมียมที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติยังมีปริมาณไม่สูงถึงขั้นเป็นพิษเป็นภัยต่อสิ่งมีชีวิต (ตีรณรรภ, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเกิดปฏิกิริยาในดินของแคดเมียม

แคดเมียมในหินอัคนีและหินตะกอนจะมีปริมาณไม่เกิน 0.3 ppm.และจะพบอยู่ร่วมกับสังกะสีเสมอแต่ในสภาพดินเป็นกรดแคดเมียมมีสภาพเคลื่อนที่ดีกว่าสังกะสี และแคดเมียมมีรูปสารประกอบได้เช่นเดียวกับกลุ่มแคตไอออน Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+}

ในการสลายตัวของหินและแร่แคดเมียมในดินอยู่ในสภาพละลายได้ง่ายโดยจะอยู่ในรูป Cd^{2+} เป็นส่วนใหญ่ โดยอาจอยู่ในรูปไอออนเชิงซ้อน (Complex ion) และสารประกอบได้ดังนี้

แคตไอออน : $CdCl^{+}$, $CdOH^{+}$, $CdHCO_3^{+}$

แอนไอออน : $CdCl_3^{-}$, $CdCl_4^{2-}$, $Cd(OH)_3^{-}$, $Cd(OH)_4^{2-}$

สารประกอบ : CdO , $CdCO_3$

ปัจจัยสำคัญที่สุดในการควบคุมการเคลื่อนที่ได้ของแคดเมียมในดิน คือ พีเอชและศักย์รีดอกซ์ ซึ่งดินมีศักย์รีดอกซ์สูง แคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบ เช่น CdO หรือ CdO_3 หรืออาจอยู่รวมกับฟอสเฟตได้เช่นเดียวกัน

แคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่าพีเอช ระหว่าง 4.5-5.5 แต่ในดินที่เป็นด่าง แคดเมียมไม่ค่อยเคลื่อนที่ ซึ่งในสภาพดินเป็นกรดสภาพละลายได้ของแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและอะลูมินัมและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

การที่แคดเมียมในตะกอนน้ำโสโครกถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่าย เป็นเพราะไอออนบวกแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable cation) สามารถไล่ที่แคดเมียมก่อนที่จะถูกดูดซับในตะกอนได้มากกว่าประเภทของตะกอนน้ำโสโครกที่สามารถดูดซับแคดเมียมจากมากไปน้อยดังนี้ Ca-sludge > Untreated sludge > Fe-sludge, Al-sludge ขณะเดียวกันเมื่ออยู่ในดิน แคดเมียมโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพที่แลกเปลี่ยนได้ ขณะที่ทองแดงจะถูกตรึงในรูปสารประกอบอินทรีย์ ทำให้ศักยภาพในการเคลื่อนที่และแพร่กระจายของแคดเมียมสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับจุลธาตุอื่นซึ่งเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ Cd > Zn > Cu , Ni

แคดเมียมเมื่ออยู่ในกากตะกอนที่เป็นด่างเช่น Ca-sludge มีแนวโน้มที่จะอยู่ในลักษณะคีเลตหรือรวมกับสารอินทรีย์ที่ไม่ละลาย (Insoluble organic bound) เป็นส่วนใหญ่และปริมาณในส่วนนี้ก็จะไม่ถูกกระทบโดยการเปลี่ยนแปลงสภาพออกซิเดชัน-รีดักชั่นแต่อย่างใด เมื่อสภาพความเป็นด่างลดลงเช่น จนถึงสภาพพีเอช 5.0 และอากาศถ่ายเทดี แคดเมียมในดินจะเปลี่ยนแปลงศักย์รีดอกซ์และพีเอชในดินมีผลต่อการละลายและแพร่กระจายของแคดเมียมเป็นอย่างมาก (ศุภมาศ, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. **กรรมวิธีการผลิตแคดเมียม** (Cadmium Production Process)

แคดเมียมเป็นแร่ที่พบกระจายกับแร่ชนิดอื่นไม่ได้เป็นแร่ที่แยกเป็นเอกเทศ และมักพบปนอยู่กับแร่สังกะสีในปริมาณ 0.1-5% ซึ่งปริมาณแคดเมียมจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสังกะสีในแร่ดังกล่าวคือ ถ้าในแร่มีปริมาณสังกะสีสูงปริมาณแคดเมียมจะสูงตามไปด้วย ซึ่งอัตราส่วนระหว่างแคดเมียมและสังกะสี ยังพบปนอยู่ในแร่ตะกั่วและทองแดง แต่พบในปริมาณที่น้อยกว่าสำหรับแร่สังกะสีในประเทศไทยที่ขุดได้ในจังหวัดตาก มีแคดเมียมประกอบอยู่ 0.23-0.38%

ในการผลิตแคดเมียมนั้นได้จากการผลิตผลที่เหลือจากการถลุงสังกะสี ตะกั่ว หรือทองแดง ซึ่งผลิตผลที่เหลือ ที่สำคัญที่นำมาใช้ในการผลิตแคดเมียม คือ ก้อนของสังกะสี แคดเมียม จากการถลุงสังกะสี ซึ่งมีแคดเมียม 2.5-10% หรือผลิตผลที่เหลือจากการกลั่น ของการผลิตตะกั่วและสังกะสีในรูปของฝุ่นตะกั่วที่มีแคดเมียมประมาณ 2-5% และผงที่มีแคดเมียม 0.7-1.07 % แต่ส่วนใหญ่ผลิตผลที่เหลือ ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแคดเมียมคือ ก้อนของสังกะสี แคดเมียม

กระบวนการในการผลิตแคดเมียมจากผลิตผลที่เหลือ หรือประเภทก้อนของสังกะสี แคดเมียม ส่วนใหญ่จะใช้วิธี Hydrometallurgical ซึ่งมีขั้นตอนหลักๆดังนี้

1. บดให้ละเอียดและแขวนลอยในน้ำ (Leaching Process)
2. กระบวนการแยกสิ่งเจือปนต่างๆออก (Purification Process)
3. แยกแคดเมียมออกจากสารละลายโดยใช้ไฟฟ้า (Electrolytic)
4. นำแคดเมียมที่แยกได้มาหลอมละลาย
5. นำมาผ่านขบวนการต่างๆเพื่อให้ได้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูง

สำหรับการสกัดเอาแคดเมียมออกจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีแคดเมียมประกอบอยู่ มีขั้นตอนในการสกัดดังนี้ คือ

1) นำผลิตภัณฑ์เหล่านั้นไปละลายในกรดซัลฟูริกเจือจาง จะทำให้แคดเมียมและสังกะสีละลายออกมา จากนั้นแคดเมียมจะตกตะกอนลงมากับฝุ่นสังกะสี

2) แยกตะกอนแคดเมียมออกมา (ตะกอนนี้มีแคดเมียมประมาณ 50-80% สังกะสีประมาณ 10-20%) ส่วนที่เหลือจะเป็นเหล็กและทองแดง

3) นำตะกอนแคดเมียมผึ่งลม เพื่อให้เกิดการออกซิไดซ์เป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ (ขั้นตอนนี้บางแห่งใช้ไอน้ำ)

4) นำตะกอนดังกล่าวมาสกัดเอาแคดเมียมออกมาโดยนำไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 70-80 g/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) แคดเมียมซัลเฟต จะถูกตกตะกอนจากสารละลายโดยการใช้ไฟฟ้าที่ 40 องศาเซลเซียส

6) นำเอาแคดเมียมที่เกาะติดอยู่บนแท่งแคโทดออกทำให้แห้งและนำไปหลอมอีกครั้งที่อุณหภูมิ 330-335 องศาเซลเซียส

7) แคดเมียมที่ได้จะถูกหล่อให้เป็นก้อนหรือแท่ง

ส่วนกระบวนการสกัดแคดเมียมออกจากฝุ่นของตะกั่วทำได้โดยการนำไปละลายด้วยกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส แล้วตามด้วยวิธี Hydrometallurgical จากการที่ในก้อนมีปริมาณแคดเมียมแตกต่างกันไป ดังนั้นในกระบวนการบดให้ละเอียดและแขวนลอยในน้ำจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มหรือดัดแปลงวิธีการให้แตกต่างกันไป ถ้าปริมาณแคดเมียมในก้อนมีมากกว่า 6% ใช้ในการบดละเอียดและแขวนลอยในน้ำอย่างเดียว ถ้าปริมาณแคดเมียมในก้อนมี 3-6% ใช้การบดละเอียดและแขวนลอยในน้ำ ซึ่งสามารถละลายทั้งแคดเมียมและทองแดง ต่อมาตะกอนเอาแคดเมียมออกจากสารละลายทองแดง ถ้าปริมาณแคดเมียมในก้อนมีน้อยกว่า 3% โดยการบดให้ละเอียดและแขวนลอยในน้ำ ทั้ง 2 ครั้งกล่าวคือ ครั้งแรกโดยการ Caburization Cadmium จากสารละลายที่มีแร่แขวนลอยอยู่แล้วตามต้องการ กระบวนการชะล้างทองแดงแคดเมียม ออกมาโดยใช้เครื่องเซนติฟิวส์ซึ่งแคดเมียมที่ได้จะถูกนำมาผ่านขบวนการอื่นๆอีกเพื่อให้ได้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูง

ในการสกัดแคดเมียมออกจากผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป ประเภทตะกั่ว หรือทองแดง ใช้วิธี Amalgam โดยการ Caburization หรือ Zinc Amalgam แล้วตามด้วยปฏิกิริยา Anodic Oxidation (มนตรี, 2543)

6. การใช้ประโยชน์ของแคดเมียม

แคดเมียมไม่มีบทบาทในสิ่งมีชีวิต แต่จะมีการใช้เพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรมหลายชนิด ในปี 1988 แคดเมียมถูกผลิตขึ้นในสหรัฐอเมริกา 1,900 เมตริกตัน และทั่วโลกมีการผลิตมากถึง 19,800 เมตริกตัน ส่วนใหญ่จะใช้แคดเมียมในอุตสาหกรรมหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นใช้เคลือบผิวหรือชุบโลหะ (Electroplating) ใช้เป็นตัวทำให้เกิดสี (Color agent) ต่างๆในสีทาบ้าน สีน้ำมัน ยาง แก้ว พลาสติก ผ้า เส้นใย เพื่อให้เกิดสีเหลือง (CdS) สีส้มแดง (Complex cadmium salt) การใช้แคดเมียมสเตียเรต ทำให้พลาสติกมีความทนทานมากขึ้น ใช้ผสมกับเงินเพื่อทำภาชนะต่างๆ เช่น ขันน้ำ เพื่อไม่ให้ภาชนะเปลี่ยนเป็นสีดำได้ง่าย ใช้ทำแบตเตอรี่ ทำกระป๋องโลหะบางชนิด ใช้เป็นส่วนผสมของสารกำจัดเชื้อราบางชนิด ใช้ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันเครื่องบางชนิด เช่น น้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น แคดเมียมซัลไฟด์ใช้ทำแผ่นพลาสติกบางๆใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์สุริยะ นอกจากนี้แคดเมียมได้ถูกนำมาใช้ในทางเกษตรบ้าง เช่น มีการนำไปผลิตสารฆ่าแมลง และ ยังพบว่ามีแคดเมียมผสมในน้ำมันดีเซล ทำให้พบแคดเมียมในฝุ่นละออง และดินบริเวณข้างถนนในปริมาณมาก (เบญจลักษณ์, 2546)

7. การแพร่กระจายแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อม

1. จากอุตสาหกรรมตะกั่วและสังกะสี (ได้แก่ การทำเหมือง การหลอม และการถลุง) อุตสาหกรรมแคดเมียม ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้จะปล่อยฝุ่น (Fume) น้ำเสีย กากตะกอน (Sludge) ที่มีแคดเมียมปนอยู่ออกมา

2. จากโรงงานชุบโลหะแคดเมียม ซึ่งของเสียจากโรงงานประเภทนี้ จะมีแคดเมียมประมาณ 100-500 ppm. และโลหะอื่นๆรวมทั้งไซยาไนด์และสารเคมีอื่นๆผสมอยู่ด้วย

3. จาก Primary Iron and Steel Industry และ Secondary non-Ferous Metalldustry อุตสาหกรรมประเภทนี้จะปล่อยฝุ่น ไอ น้ำเสีย กากตะกอน ที่มีแคดเมียมปนอยู่ออกมา

4. จากการเผาของเสีย (Incineration) การเผาของเสียที่มีแคดเมียมประกอบอยู่ เช่น เม็ดพลาสติก โลหะเคลือบ เป็นต้น จะปล่อยแคดเมียมออกมาในรูปละอองแคดเมียม เช่น แคดเมียมออกไซด์ (CdO)

5. จากยางรถยนต์ที่สึกหรอ ยางรถยนต์จะมีแคดเมียมประกอบอยู่ประมาณ 20-90 ppm. โดยเป็นสิ่งเจือปน (Impurity) ในสังกะสีออกไซด์ ซึ่งเป็นสารรักษาความเร่ง

6. จากปุ๋ยฟอสเฟต เนื่องจากหินฟอสเฟตจะไปเพิ่มเป็นวัตถุดิบมีแคดเมียมประมาณ 2-170 ppm. จากรายงานการศึกษาพบว่า การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตจะไปเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน เพราะแคดเมียมฟอสเฟตละลายน้ำได้น้อย และส่วนที่ไม่ละลายพืชไม่สามารถดูดซึมได้ ดังนั้นแคดเมียมส่วนนี้จึงสะสมอยู่ในดิน แต่ถ้ามีการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียร่วมด้วยแคดเมียมจะละลายได้มากขึ้น เนื่องจากแคดเมียมจะไปรวมตัวกับแอมโมเนียมเป็นอิออนที่ละลายน้ำได้คือ $Cd(NH_3)_2^{+2}$ และ $Cd(NH_3)_4^{+2}$

7. จากการใช้ถ่านหินและน้ำมันเชื้อเพลิง แคดเมียมเป็นธาตุปริมาณน้อยในเชื้อเพลิงพวกฟอสซิล Fossil Fuels ดังนั้นเมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้ แคดเมียมจะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของไอและเถ้า ปริมาณแคดเมียมในถ่านหินอยู่ในช่วง 0.25-5.00 ppm. ถึงแม้จะไม่ทราบเปอร์เซ็นต์ที่แน่นอนของแคดเมียมที่ถูกปล่อยออกมาจากปล่องหรือส่วนที่ถูกขจัดโดย Acrubber หรือส่วนที่ถูกทำให้ ตกตะกอน (Precipitated) ก็ตาม แต่พบว่าในเถ้าจากถ่านหิน (Coal Ash) มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณแคดเมียมสูงถึง 151 ppm. ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมโดยเฉลี่ยในน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 0.3 ppm.

8. จากตะกอนน้ำทิ้ง (Sewage Sludge) กากตะกอนจากโรงงานกำจัดน้ำเสียมีปริมาณแคดเมียมค่อนข้างสูง ปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนจากโรงงานกำจัดน้ำเสียจำนวน 56 แห่ง ในประเทศสวีเดน มีค่าเฉลี่ย 15.6 ppm. และการใช้กากตะกอนเหล่านี้เพื่อเป็นปุ๋ย จะเป็นการเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน ได้มีการคำนวณว่า จากการใช้ Sewage Sludge (ที่มีแคดเมียมประมาณ 20ppm. หรือมากกว่า) จำนวน 2-3 ตัน/ปี ใส่ลงในพื้นที่เพาะปลูกที่ยังไม่มีปัญหามลพิษ (Unpolluted Agriculture Soils ซึ่งมี แคดเมียม <0.1-0.5 ppm.) จะไปเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดินเพาะปลูกนี้เป็น 1.2-6.0 ppm. และพบว่า พืชบางชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าว สามารถดูดซึมแคดเมียมจากดินได้ดี

9. จากการสึกกร่อนของสังกะสี (Corrosion of Zinc) แคดเมียมเป็นสิ่งเจือปนในสังกะสี เมื่อโลหะหรือภาชนะที่ชุบสังกะสีเกิดการสึกกร่อน แคดเมียมก็จะแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ (มนตรี, 2543)

ตารางที่ 2 ปริมาณแคดเมียมในดินบนที่มีการปนเปื้อน (ppm)

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

ที่มา : ศุภมาศ (2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ปริมาณแคดเมียมในพืชบริเวณที่มีการปนเปื้อน (ppm นน.แห้ง)

ชนิดพืช	พืช	ส่วนของพืช	พิสัย	หมายเหตุ
เหมืองแร่เก่า	หญ้า	ใบ	1.1-2.0	สหราชอาณาจักร
	ถั่วโคลเวอร์	เหนือดิน	4.90	สหราชอาณาจักร
อุตสาหกรรม	หญ้า	ใบ	8.20	สหราชอาณาจักร
โลหะ	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,ปุ๋ย	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)

8. ความเป็นพิษของแคดเมียม

จากการที่แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภค ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้โลหะแคดเมียมเกิดการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศและในอาหาร ทำให้เราได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางโดยไม่รู้ตัว คนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกานจากอาการที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจติดปะปนมากับพืชผัก ผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร แคดเมียมอาจละลายอยู่ในน้ำที่เราดื่มและได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นแคดเมียมฟุ้งกระจายอยู่โดยเฉพาะในแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่นโรงงานทำแบตเตอรี่ หรือบริเวณที่เป็นเหมืองแร่ สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง ที่มักมีแคดเมียมปนอยู่ด้วย การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบและการอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในอากาศนานๆจะทำให้แคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายเราได้อีกด้วย สำหรับผู้ที่สูบบุหรี่จัดจะทำให้ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคดเมียมทั้งหมดในร่างกายครึ่งหนึ่งจะไปสะสมอยู่ที่ตับและไต ทำให้เกิดพิษสะสมได้ในคน การขับแคดเมียมที่ร่างกายดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่างกายเป็นไปค่อนข้างช้ามากเพราะวงจรครึ่งชีวิตของแคดเมียมในคนค่อนข้างยาว 16-33 ปี โดยความเป็นพิษของแคดเมียมแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้

8.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกินซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหาร หรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อนหรือบรรจุในภาชนะที่เคลือบด้วยแคดเมียม อาการที่ปรากฏเริ่มแรกคือ รู้สึกคลื่นเหียนอย่างรุนแรง อาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากอาจเกิดอาการช็อกเนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมาก ระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงตายได้

ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ การสูดหายใจเอาไอของแคดเมียมเข้าไปทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลม ปอด จมูก ลำคอ และยังทำให้เกิดอาการไอ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก

8.2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

ความเป็นพิษจากแคดเมียมที่เกิดกับคนส่วนใหญ่มักเป็นแบบชนิดเรื้อรังซึ่งเกิดจากการที่ร่างกายได้รับแคดเมียมเข้าไปเป็นเวลานานติดต่อกัน ได้แก่

ความเป็นพิษต่อปอดในคนที่หายใจฝุ่นหรือไอ (Fume) ของแคดเมียมเข้าไปติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการบวมหรือพองของเนื้อเยื่อปอด ประสิทธิภาพในการระบายลมของปอดจะลดลงทำให้อากาศอยู่ภายในปอดนานกว่าปกติ มีอาการหายใจขัดหรือหายใจไม่ออกนอกจากนี้ยังพบว่าแคดเมียมทำให้เกิดโรคถุงลงโป่งพองและมีพังผืดในปอดจับในทางเดินหายใจส่วนล่าง เนื่องจากแคดเมียมจะเป็นตัวไปขัดขวางการสร้าง antitrysin ในร่างกายคนซึ่งสาร trypsin นี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองได้

ความเป็นพิษต่อไตผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายนานติดต่อกันจะพบความเป็นพิษที่ไตก่อนที่ปอดจะเกิดแผลที่ไตพิษต่อไตจะปรากฏโดยผู้ป่วยมีอาการของโปรตีนยูเรีย คือไตจะมีการขับปัสสาวะที่มีโปรตีนมากกว่าปกติ ซึ่งโปรตีนที่ขับออกมาส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น microglobin lysozyme ribonuclrase retinol binding protein และ immunoglobin chains โดยชนิดของโปรตีนที่ถูกขับออกมาจะเป็นตัวบอกให้รู้ว่าไตส่วนใดถูกทำลาย เช่น ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีนขนาดใหญ่ถูกขับออกมาแสดงว่าส่วนของทิบูลถูกทำลายนอกจากโปรตีนแล้วยังมีสารอื่นถูกขับออกมามากผิดปกติด้วย เช่น กรดอะมิโนทำให้เกิดอาการ aminoaciduria แคลเซียมทำให้เกิดอาหาร hypercalciumuria และ กลูโคส ทำให้เกิดอาการ glucosuria เป็นต้น

ความเป็นพิษที่กระดูกที่ปรากฏเด่นชัดในกรณีโรค อิไต อิไต โรคชนิดนี้เป็นโรคกระดูกผุคือกระดูกจะพรุน กระดูกโก่ง งอโค้งได้จะทำให้กระดูกเสียรูปทรงแตกร้าวและหักได้ เนื่องจากร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง

ความเป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจและระบบการสร้างเม็ดโลหิตจะทำให้เกิดความดันโลหิตสูงเป็นสาเหตุให้เกิดโรคหัวใจ หัวใจเต้นผิดปกติในกลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรค อิไต อิไต และกลุ่มคนงานที่ต้องสัมผัสกับแคดเมียมจะพบอาการของโรคโลหิตจางด้วย

ความเป็นพิษต่อตับ มีรายงานค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับความเป็นพิษต่อตับในคน แต่จาการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่าแคดเมียมในปริมาณน้อย (ในน้ำดื่ม 1 ppm) มีผลทำให้การทำงานของเอ็นไซม์ในตับเปลี่ยนไป

จากการทดลองในสัตว์พบว่าแคดเมียมยังเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทำให้เกิดมะเร็งของเนื้อเยื่อที่อยู่ลึก (Sarcoma) เช่นกล้ามเนื้อกระดูกในหนูทดลองจากความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียมที่กล่าวมายังมีโลหะหนักอื่นอีกหลายชนิดซึ่งไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเช่นกล้ามเนื้อกระดูกในหนูทดลองจากความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียมที่กล่าวมายังมีโลหะหนักอื่นอีกหลายชนิดซึ่งไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น ตะกั่ว สารหนู ปรอท โครเมียม เป็นต้น เนื่องจากโลหะหนักต่างๆเหล่านี้ยังมีความจำเป็นต่อชีวิตประจำวันอยู่การใช้โลหะหนักเหล่านี้จะทำให้โลหะหนักเหล่ามีโอกาสที่จะแพร่หกระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมและปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ การศึกษาพิษวิทยาของโลหะหนักจึงมีความสำคัญเพื่อหาแนวทางป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป

8.3 **โรคอิไต-อิไต** (Itai-Itai disease)

ในอดีตได้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักคือแคดเมียมในนาข้าวจากแม่น้ำจินทสึ ซึ่งต้นน้ำขึ้นไป มีการปล่อยน้ำเสียจากโรงถลุงแร่ของบริษัทมิตซุย ที่ผลิตแร่ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ซึ่งแคดเมียมจะเป็นของเหลือทิ้งออกมา ทั้งนี้เพราะในธรรมชาติ มักจะพบแคดเมียมร่วมกับสังกะสีเสมอในอัตราส่วน Zn/Cd ประมาณ 900/1 ในข้าวที่บริโภคนั้นมีแคดเมียมปริมาณ 1 ppm ในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่สองคือ ในปี พ.ศ. 2489 หมอชื่อ Dr.Noboru Hagino ได้พบโรคนี้เป็นครั้งแรกในเมืองโทยามะ โดยเริ่มเป็นที่ไตล้มเหลว ปวดกระดูก จนถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระดูกผิดรูปจะพบได้มากที่สุดในหญิงที่มีบุตรแล้ว อาการของโรคที่พบได้ง่ายที่สุดคือ จะรู้สึกเจ็บจากการกดกระดูก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระดูกต้นขา กระดูกสันหลัง และกระดูกซี่โครง เรียกว่าโรค *"อิไต-อิไต"* (Itai-Itai byo) ซึ่งแปลเป็นไทยว่า โรค *"โอ้ยเจ็บๆ"* อันเป็นคำอุทานเมื่อรู้สึกเจ็บปวด ถ้าเป็นมาก กระดูกจะฝ่อและผิดรูป ถ้าเป็นหลายปีกระดูกจะผิดรูปถึงขั้นเดินไม่ได้และแม้กระทั่งกระดูกจะหักเพียงแค่ไอแรงๆ ในช่วง 20 ปีหลังจากเกิดเหตุมีคนตายเนื่องจากโรคนี้กว่าร้อยคน ภายหลังจากนี้ได้พบโรคนี้อีกหลายแห่งในประเทศญี่ปุ่น (ศุภมาศ , 2540)

9. การดูดซึมแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย

แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทางคือ ทางการกินและการหายใจเมื่อคนกินอาหารหรือน้ำที่ปนเปื้อนแคดเมียมเข้าไป แคดเมียมมักถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหารประมาณร้อยละ 10 (FAO and WHO,1972) แต่ในภาวะที่ร่างกายขาดธาตุเหล็กมักทำให้การดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้สูงขึ้นถึงร้อยละ 20 ของจำนวนแคดเมียมที่กินเข้าไป ส่วนการเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ มักเกิดจากการหายใจรับฝุ่น หรือไอของแคดเมียม หรือจากการสูบบุหรี่ และถูกดูดซึมที่ปอดร้อยละ 10-40 เมื่อแคดเมียมถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย แคดเมียมจะถูกลำเลียงต่อไปยังตับและรวมตัวกับโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีชื่อว่า เมตัลโลธัยโอนิน (Metallothionin) ประมาณร้อยละ 80-90 ซึ่งการป้องกันการเกิดพิษจากแคดเมียม ตามปกติแคดเมียมที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ประมาณร้อยละ 10 จะถูกขับออกจากร่างกายได้ ส่วนที่เหลือจะหมุนเวียนในกระแสเลือดและสะสมในอวัยวะต่างๆ เช่น ตับ ม้าม ไต โดยในไตจะสะสมอยู่ประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกาย (อรดี , 2547)

9.1 ปริมาณที่ร่างกายได้รับแคดเมียมแล้วเกิดอันตราย

ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าไปในร่างกายส่วนใหญ่จะเกิดจากการกิน ซึ่งทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน โดยการเกิดพิษจะแบ่งตามปริมาณแคดเมียมที่ได้รับเข้าไปคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ปริมาณแคดเมียมที่ร่างกายได้รับ

ปริมาณแคดเมียม/มิลลิกรัม	อาการ
3/90	อาเจียนแต่ไม่มีผลทำให้ถึงตาย
15	อาเจียน
10/326	เกิดอาการความเป็นพิษอย่างรุนแรงแต่ไม่ถึงตาย
350/3,500	อาจทำให้ถึงตายได้
1,530/8,900	ทำให้ตายได้

ที่มา : ศุภมาศ (2540)

สำหรับคนไทยได้รับแคดเมียมจากการกินอาหารและเครื่องดื่มสัปดาห์ละ 0.105-0.113 มิลลิกรัม ซึ่งยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ FAO/WHO ที่กำหนดปริมาณแคดเมียมสูงสุดที่มนุษย์จะได้รับไม่เกิน 7 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม หรือ 420 ไมโครกรัม สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม แต่ถ้าหากกินอาหารจากตับสัตว์ที่การปนเปื้อนของสารแคดเมียมเป็นประจำบ่อยๆจะได้รับแคดเมียมจากอาหารเข้าสู่ร่างกายสูง การขับแคดเมียมออกจากร่างกายคนมีครึ่งชีวิต (Half-life) ประมาณ 30 ปี หรือต้องใช้เวลา 30 ปีร่างกายจึงจะขับแคดเมียมออกได้ครึ่งหนึ่งของจำนวนที่มีอยู่ในร่างกาย ทำให้ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเป็นประจำจะมีการสะสมอยู่ในร่างกายมากขึ้นทุกวันจนเป็นอันตรายได้

9.2 **ค่ามาตรฐานของแคดเมียม**

9.2.1 **มาตรฐานแคดเมียมที่มีอยู่ในดิน** ไทยกำหนดไว้ 2 แบบคือ

ดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมไม่เกิน 37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ดินที่ใช้ประโยชน์นอกเหนือจากประเภทแรกยอมให้มีได้ไม่เกิน 810 มิลลิกรัม / กิโลกรัม (ที่มา : หนังสือพิมพ์มติชนรายวัน ฉบับวันศุกร์ที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2547 หน้า 18)

9.2.2 **มาตรฐานแคดเมียมที่มีอยู่ในน้ำ**

น้ำที่มีความกระด้างในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCo^3$) ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม / ลิตร ต้องมีค่าแคดเมียมไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม / ลิตร

น้ำที่มีความกระด้างในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตเกินกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร ต้องมีค่าแคดเมียมไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในน้ำดื่มนั้นองค์การอนามัยโลกระบุไว้ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นยอมให้มีแคดเมียมในน้ำได้ 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร

9.3 มาตรฐานแคดเมียมอื่นๆ

มาตรฐานโคเด็กซ์ในผักมีการกำหนดให้สารแคดเมียมปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

องค์การอนามัยโลก / องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO/WHO) ได้กำหนดปริมาณแคดเมียมสูงสุดที่มนุษย์จะรับได้ไม่เกิน 7 ไมโครกรัม / น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม หรือ 420 ไมโครกรัม สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม

องค์การอนามัยโลกกำหนดค่าปกติแคดเมียมในปัสสาวะ <2 ไมโครกรัม / กรัมครีอาตินีน และค่าสูงสุดที่อนุญาตให้มีได้ 10 ไมโครกรัม / กรัม ครีอาตินีน

องค์การอนามัยโลกกำหนดค่าปกติแคดเมียมในเลือด 5 ไมโครกรัม / ลิตร และค่าสูงสุดที่อนุญาตให้มีได้ 10 ไมโครกรัม / ลิตร

10. เทคโนโลยีในการบำบัดสารพิษในดิน

วิธีการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน สามารถแบ่งเป็น 11 วิธีได้แก่

1. Isolation and containment

คือ วิธีการแยกและควบคุมโลหะหนัก โดยการปรับสภาพให้คงตัว (Solidification) หรือการปรับสภาพให้เสถียร (Stabilization) เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะ

2. Mechnical separation

คือ วิธีการแยกอนุภาคเพื่อนำไปบำบัด โดยใช้เครื่อง Hydrocyclone หรือ Fluized bed ซึ่งอาศัยหลักของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และแรงโน้มถ่วง นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมี เช่น สารช่วยการลอยตัว และการแยกโลหะหนักโดยอาศัยแม่เหล็ก

3. Pyrometallurgical separation

คือ วิธีการบำบัดสำหรับโลหะหนักที่สามารถระเหยได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-700^{0}C เป็นวิธีการที่เหมาะกับการบำบัดปรอท

4. Chemical treatment

คือ วิธีการบำบัดทางเคมี โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือการปรับพีเอชด้วยสารละลายกรดหรือเบส เพื่อลดความเป็นพิษ ตกตะกอน หรือ เพื่อละลายโลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Permeable treatment walls

คือ การบำบัดโดยใช้แผงกั้นที่มีความสามารถในการซึมผ่าน เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะในน้ำใต้ดิน

6. Electrokinetics

คือ การแยกไอออนบวกและไอออนลบในน้ำใต้ดิน โดยผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังขั้วอิเล็คโทรดทั้งสอง (Cathod และ anode)

7. Biochemical process

คือ วิธีการบำบัดโดยอาศัยกระบวนการทางชีวเคมีได้แก่ การชะทางชีวภาพ ปฏิกิริยาออกซิเดชันขรีดักชัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นการใช้แบคทีเรียและควบคุมสภาวะต่างๆ เช่น ปริมาณออกซิเจน ค่าพีเอช และอุณหภูมิ

8. Phytoremediation

คือ การบำบัดโดยใช้พืชเป็นตัวสกัดโลหะหนักออกจากดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งอาจนำวิธีบำบัดวิธีอื่นมาร่วมด้วย เช่น การสกัดโลหะหนักด้วยกรด

9. Soil Flushing

คือ วิธีการสกัดโลหะหนักออกจากจารดินโดยใช้น้ำหรือสารละลายชะสิ่งเจือปนออกมา ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายในแหล่งปนเปื้อนได้

10. Treatment of sediments

คือ วิธีการบำบัดกากตะกอนโดยอาศัยหลักการต่างๆเช่น Hydrocyclone , Solidification, stabilization และการสกัดด้วยสารละลายกรด

11. Soil washing (Chemical leaching)

คือวิธีการกำจัดโลหะหนักออกจากดินปนเปื้อนด้วยการใช้สารละลายสกัดต่างๆ เช่น คีเลตติงค์เอเจนต์ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายนอกแหล่งปนเปื้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. อีดีทีเอ (Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid, EDTA)

11.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอีดีทีเอ

อีดีทีเอ หรือ Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid เป็นสารประกอบหลักในน้ำยาทำความสะอาดผิว บ้างก็นำอีดีทีเอมาใช้เป็นสารคีเลชั่น เนื่องจากว่าอีดีทีเอสามารถจับกับโลหะหนักและโลหะทรานซิสชั่นทำให้สามารถละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้อีดีทีเอยังใช้เป็นตัวยับยั้งการเน่าเสียของอาหาร โดยเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสียนั้นจะจับอยู่กับโลหะทรานซิสชั่น อีดีทีเอจะจับกับโลหะนั้นแทนทำให้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสียได้ (Benjamin, 2002) โรงงานที่ใช้อีดีทีเอเป็นสารคีเลชั่น คือ โรงงานที่ใช้กระบวนการชุบโลหะแบบ non-cyanide based โรงงานกระดาษและเยื่อกระดาษ

คุณสมบัติของอีดีทีเอคุณสมบัติของอีดีทีเอ

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	0.05g/100 ml
ค่า chelation	3.39 mmo/g
จุดหลอมเหลว	240 องศาเซลเซียส

ที่มา : Chemicalland, (2003)

11.2 ความเป็นพิษของอีดีทีเอ

อีดีทีเอไม่มีพิษร้ายแรงต่อมนุษย์ หากหายใจเอาละอองหรือว่าฝุ่นของอีดีทีเอเข้าไปก็จะทำให้ไอและจาม การสัมผัสกับผิวหนังมีผลทำให้เพียงผิวหนังบริเวณที่สัมผัสแดงขึ้นเท่านั้น แต่ถ้าหากกินหรือว่ากลืนเข้าไปก็จะทำให้รู้สึกร้อนในกระเพาะและคลื่นไส้อาเจียน แต่ถ้าหากได้รับในปริมาณที่มากอาจมีผลต่อไตได้ (National Institute for Occupational Safety and Health, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. หลักการทำงานของอุลตร้าโซนิค

คลื่นเสียง คือ คลื่นตามยาวซึ่งหูของคนปกติได้ยิน โดยมีความถี่ตั้งแต่ประมาณ 20 ถึง 20,000 เฮิร์ทซ์ (Hz) จากการวัดคลื่นเสียงพบว่าการแปรผันของความดันมากที่สุดของเสียงดังที่สุดเท่าที่หูของคนเราจะทนได้มีค่าเท่ากับ 28 Nm-2 โดยทั่วไปคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิร์ทซ์ เรียกว่า คลื่นใต้เสียง (Infrasonic waves) เช่น คลื่นได้จากการเกิดแผ่นดินไหว และคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิร์ทซ์ เรียกว่า คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic waves) เช่น คลื่นที่เกิดจากการสั่นของผลึกควอทซ์ซึ่งเกิดขึ้นโดยการให้สนามไฟฟ้าสลับแก่ผลึก โดยทั่วไปหูของคนปกติไม่สามารถรับฟังคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคได้ (กิตติพงศ์, 2549)

การประยุกต์ใช้กระบวนการ Ultrasonic processing ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อน จะใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงปล่อยลงในของเหลว ทำให้เกิดการผสมและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และฟิสิกส์ (Hwang *et al.*, 2007)

ทำการสกัดดินที่ปนเปื้อนด้วยคลื่นเสียงที่ระดับ 20 kHz ใช้กำลังไฟระหว่าง 1 -100 W. (10-40 W.จะทำการทดลองที่ 12 นาที) (Hwang *et al.*, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์

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-202)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15) ถุงพลาสติก

16) แท่งแก้วคน

17) หลอด Centrifuge ขนาด 50 มล.

18) หลอดหยด

19) และอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการอื่นๆ

3. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1) Acidified sodium chloride

2) Ammonium acetate

3) Ascobic acid

4) Boric acid – indicator solution

5) Bromocresol green

6) Buffer pH 4 , pH 7

7) EDTA

8) Ethyl alcohol

9) Ferrous sulfate

10) Methyl red

11) Mixed acid (HNO_3:$HClO_4$)

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

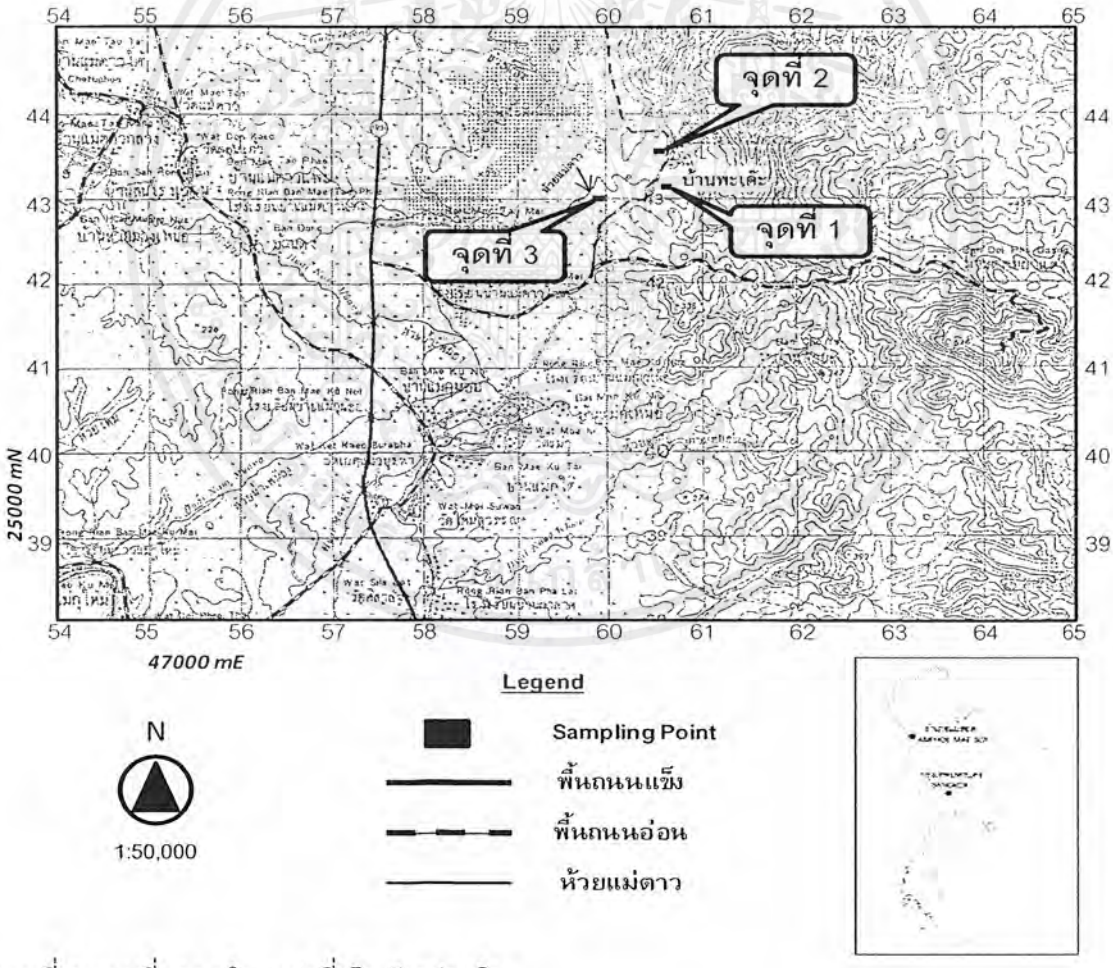
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลองกับดินบ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ทำการเก็บตัวอย่างดิน 3 จุดซึ่งมีการปนเปื้อนแคดเมียมในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1

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



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน

ที่มา: กรมแผนที่ทหาร (2522)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเก็บตัวอย่างดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม (Cd)

1. เก็บตัวอย่างดินที่บ้านพะเต๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. จำนวน 4 ชุด ซึ่งนำมาทดสอบการบำบัดดินโดยเก็บจุดละ 100 กิโลกรัม แบ่งเป็น 0-15 ซม. 50 กิโลกรัม และ 15-30 ซม. 50 กิโลกรัม

2. เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-15 ซม. ,15-30 ซม. ,30-50 ซม. ,50-70 ซม. และ 70-100 ที่บ้านพะเต๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15- 30 ซม. จำนวน 4 จุด

3. การเตรียมตัวอย่างดิน

1. ทำการตากดินในที่ร่ม

2. นำมาผ่านเครื่องแยกอนุภาคโดยเครื่อง Sieving shaker Model DiK -2150 NO.1203 แยกขนาดอนุภาคดินเป็น 5 ขนาดดังนี้

- 1.00 - 2.00 มิลลิเมตร
- 0.5 - 1.00 มิลลิเมตร
- 0.25 - 0.5 มิลลิเมตร
- 0.106 - 0.25 มิลลิเมตร
- < 0.106 มิลลิเมตร

3.1 ขั้นตอนการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการสกัดแคดเมียม (Cd) ออกจากดิน

การสกัดแคดเมียมออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด EDTA โดยทำการเปรียบเทียบสัดส่วน : ดิน ที่แตกต่างกัน โดยใช้สัดส่วน (2 : 1) , (5 : 1) โดยการแบ่งการวิเคราะห์เป็น 4 จุด จุดละ 3 ตัวอย่าง รวมทั้ง 4 จุดคิดเป็น 12 ตัวอย่าง โดยทำการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสม (Liquid / Solid (L / S) ratio) ทั้งหมด 2 สัดส่วน คิดเป็น 36 ตัวอย่าง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คิดเป็น 106 ตัวอย่าง มีวิธีการทำดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างดินโดยมีน้ำหนัก 2, และ 5 กรัม ใส่ขวดพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำยาสกัด EDTA 30 มิลลิลิตร ลงในขวดพลาสติก โดยให้มีสัดส่วนระหว่างของแข็งและของเหลว (Liquid / Solid (L / S) ratio) โดยสัดส่วนที่ได้จะเป็น (2:1), (5:1)
3. นำไปเขย่าโดยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้ความเร็วที่ 120 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กรองตัวอย่างดินด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำไปวัดค่าปริมาณแคดเมียมโดยใช้เครื่อง AAS

3.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้นของดิน

1. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ใช้อัตราส่วน ดิน : น้ำ เท่ากับ 1:1 โดยทำการชั่งดินมา 10 กรัม บรรจุในกระป๋องพลาสติกเติมน้ำกลั่นลงไป 10 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Sheker NO.8315) ใช้ความเร็วที่ 180 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ทำการวัดสารละลายที่ได้ด้วยเครื่อง pH meter Model HI 9025

2. การนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity) ใช้อัตราส่วน ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:5 โดยทำการชั่งดิน 10 กรัม บรรจุในกระป๋องพลาสติกเติมน้ำกลั่นลงไป 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่อง (Sheker NO.8315) ใช้ความเร็วที่ 180 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ทำการวัดสารละลายที่ได้ด้วยเครื่อง EC meter Model HI 8733

3. ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Organic metter) โดยใช้วิธี wet oxidation (Walkley and Black, 1934) โดยออกซิไดซ์ดินด้วย Potssium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) และกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น แล้วหาปริมาณอินทรียคาร์บอนโดยการไทเทรตกับสารละลาย Ferrous sulfate ($FeSO_4$) นำค่าปริมาณอินทรียคาร์บอนที่ได้คูณด้วย 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 elhyl alcohol ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และแทนที่ NH_4^+ ด้วย acidified NaCl 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับ H_2SO_4 จนละลายเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง นำค่าที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณหาค่า CEC

5. เบสที่แลกเปลี่ยนได้ (Ca^{2+}, Mg^{2}, K^{+}, Na^{+}) สกัดดินด้วย NH_4OAc pH 7.0 นำสารละลายที่ได้ไปวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Model Hitachi Z8200) สำหรับแคลเซียม แมกนีเซียม เติม strontium chloride (ซึ่ง $SrCL_2$ 72 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรใน Volumetric flask 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้ในปริมาณ 25% ของปริมาตรสุดท้าย) แล้วนำไปเทียบความเข้มข้นกับ standard solution

6. การเตรียม standard solution (Cd , Mg , K, Na ,Ca ,Pb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 100 ppm โดยการดูด stock standard มา 1,2,3,4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตรและใส่ $SrCl_2$ 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 50 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 1000 ppm โดยดูด stock standard 100 ppm แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 500 มิลลิลิตร จะได้ standard solution 1000 ppm และดูด standard solution 1000 ppm ใส่ลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

3.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของดิน

ในการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคดิน จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Pipette method

1. ชั่งตัวอย่างดินมา 10 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร (ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ) เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5-10 มิลลิลิตร นำไปเร่งปฏิกิริยาบนเตา (Hot plate)

2. ดินที่ได้จากข้อ 1 ซึ่งมีตัวอย่างละ 2 บีกเกอร์ นำดินบีกเกอร์หนึ่งไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่ นำไปใช้คำนวณ

3. นำดินอีกบีกเกอร์หนึ่งมาเติม Calgon จำนวน 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที นำไปกวนด้วยเครื่องกวน (Mechanical stirrer) 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เทส่วนผสมของดินและน้ำจากข้อ 3 ลงในกระบอกตวง ขนาด 1,000 มิลลิลิตร โดยเทผ่านตะแกรงร่อนขนาด 300 เมช (Mesh) สิ่งที่ตกค้างอยู่บนตระแกรงคืออนุภาคทราย นำไปใส่ภาชนะอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสหรือน้ำหนักคงที่

5. ส่วนที่ผ่านตระแกรงลงไปในกระบอกตวงคือ อนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียว ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร ทิ้งสารแขวนลอยให้คงที่เท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นคนด้วย plunger ให้ทั่วแล้วจับเวลา

6. ดูดสารแขวนลอยในกระบอกตวงโดยใช้ Pipette apparatus (จะเป็นอนุภาคดินเหนียว) เวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความลึกซึ่งจะเป็นไปตาม Stokes'law นำไปอบให้น้ำหนักคงที่แล้วชั่งหาน้ำหนัก (กรมพัฒนาที่ดิน , 2547)

3.4 วิเคราะห์หาปริมาณ Total Cd ที่มีอยู่ในดิน

ในการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนทั้งหมดในดิน วิเคราะห์ได้โดยใช้กรดไนตริกและกรดเปอร์คลอริก ด้วยวิธี Wet digestion ดังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ในภาพที่ 2

1) ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ลงในหลอด digest tube

2) เติมกรดผสมระหว่างกรดไนตริกกับกรดเปอร์คลอริก ในสัดส่วน 3 : 1 , HNO_3^+ $HClO_4$ ในปริมาณ 10 มิลลิลิตร

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

4) หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

5) นำไปวัดปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. **การสกัดแคดเมียมออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน** (Soil Washing) **ร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค** (Ultrasonic)

การสกัดแคดเมียมออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด EDTA ร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค โดยใช้สัดส่วนระหว่างดินต่อน้ำยาสกัด (2 : 1) ,(5 : 1) ตามวิธีของ Makino *et al.*, 2006 แล้วทำการชั่งดินลงในหลอด Centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 6 กรัม และ 15 กรัม แล้วเติมน้ำยาสกัด EDTA 30 มิลลิลิตรโดยทำการชั่งตามดินแต่ละจุด ดังนี้

ดินจุดที่ 1

- 1.00 - 2.00 มิลลิลิตร ชั่งดิน 6 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1 : 5
- 0.5 - 1.00 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1
- 0.25 - 0.5 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1
- 0.106 - 0.25 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1
- <0.106 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1

ดินจุดที่ 2

- 1.00-2.00 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1
- 0.5 - 1.00 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1
- 0.25 - 0.5 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1
- 0.106 - 0.25 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1
- <0.106 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1

ดินจุดที่ 3

- 1.00 - 2.00 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1
- 0.5 -1.00 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1
- 0.25 - 0.5 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1
- 0.106 -0.25 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1
- <0.106 มิลลิลิตร ชั่งดิน 15 กรัม สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 2 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งตำรับการทดลอง

1. ตำรับที่ 1 ใช้น้ำยา EDTA และเขย่า

1. ชั่งตัวอย่างดินโดยมีน้ำหนัก 6 และ 15 กรัม ใส่ดินลงในหลอด เซนตริฟิวส์

2. เติมน้ำยาสกัด EDTA 30 มิลลิลิตร ลงในขวดพลาสติก โดยให้มีสัดส่วนระหว่างของแข็งและของเหลว (Liquid / Solid (L / S) ratio) โดยสัดส่วนที่ได้จะเป็น (2:1), (5:1)

3. นำไปเขย่าโดยเครื่องเขย่า (Shaker NO. 8315) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้ความเร็วที่ 120 รอบ/นาที

4. กรองตัวอย่างดินด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

5. นำไปวัดค่าปริมาณแคดเมียมโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2. ตำรับที่ 2 ใช้น้ำยา EDTA และเขย่า ร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค

1. ชั่งตัวอย่างดินโดยมีน้ำหนัก 15 กรัม ใส่ดินลงในหลอด เซนตริฟิวส์

2. เติมน้ำยาสกัด EDTA 30 มิลลิลิตร ลงในขวดพลาสติก โดยให้มีสัดส่วนระหว่างของแข็งและของเหลว (Liquid / Solid (L / S) ratio) โดยสัดส่วนที่ได้จะเป็น (2:1)

3. นำไปเขย่าโดยเครื่องเขย่า (Shaker NO. 8315) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้ความเร็วที่ 120 รอบ/นาที

4. นำไปเขย่าโดยเครื่องอุลตร้าโซนิค SONOPULS : Model HD 2070 โดยใช้ Cycle 5% Power 50% เป็นเวลา 5 นาที

5. กรองตัวอย่างดินด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

6. นำไปวัดค่าปริมาณแคดเมียมโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตำรับที่ 3 ใช้น้ำยา EDTA และเขย่า ร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค

1. ชั่งตัวอย่างดินโดยมีน้ำหนัก 15 กรัม ใส่ดินลงในหลอด เซนตริฟิวส์

2. เติมน้ำยาสกัด EDTA 30 มิลลิลิตร ลงในขวดพลาสติก โดยให้มีสัดส่วนระหว่างของแข็งและของเหลว (Liquid / Solid (L / S) ratio) โดยสัดส่วนที่ได้จะเป็น (2:1)

3. นำไปเขย่าโดยเครื่องเขย่า (Shaker NO. 8315) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้ความเร็วที่ 120 รอบ/นาที

4. นำไปเขย่าโดยเครื่องอุลตร้าโซนิค SONOPULS : Model HD 2070 โดยใช้ Cycle 5% Power 50% เป็นเวลา 10 นาที

5. กรองตัวอย่างดินด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

6. นำไปวัดค่าปริมาณแคดเมียมโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

4. ตำรับที่ 4 ใช้น้ำยา EDTA และเขย่า ร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค

1. ชั่งตัวอย่างดินโดยมีน้ำหนัก 15 กรัม ใส่ดินลงในหลอด เซนตริฟิวส์

2. เติมน้ำยาสกัด EDTA 30 มิลลิลิตร ลงในขวดพลาสติก โดยให้มีสัดส่วนระหว่างของแข็งและของเหลว (Liquid / Solid (L / S) ratio) โดยสัดส่วนที่ได้จะเป็น (2:1)

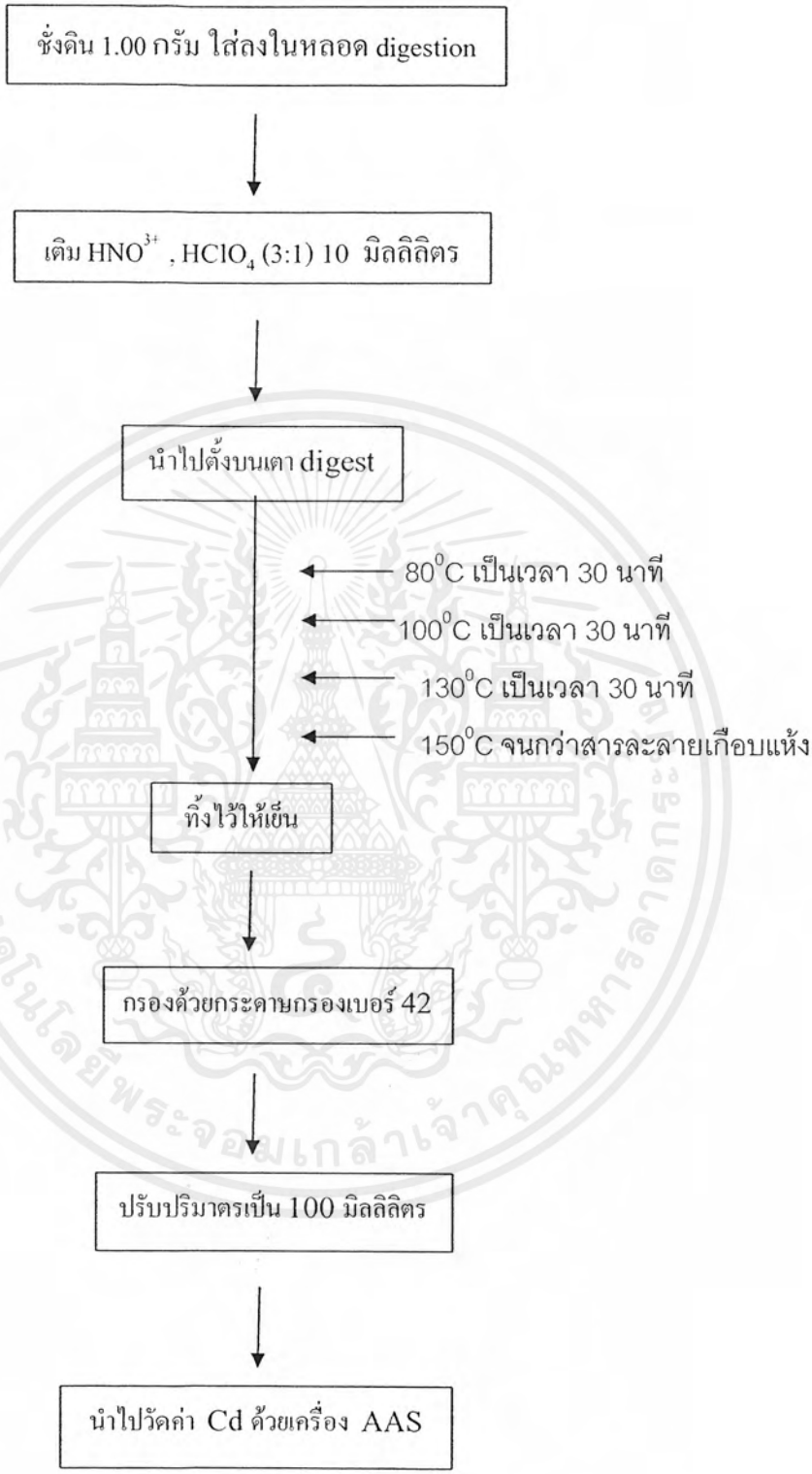
3. นำไปเขย่าโดยเครื่องเขย่า (Shaker NO. 8315) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้ความเร็วที่ 120 รอบ/นาที

4. นำไปเขย่าโดยเครื่องอุลตร้าโซนิค SONOPULS : Model HD 2070 โดยใช้ Cycle 5% Power 50% เป็นเวลา 15 นาที

5. กรองตัวอย่างดินด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

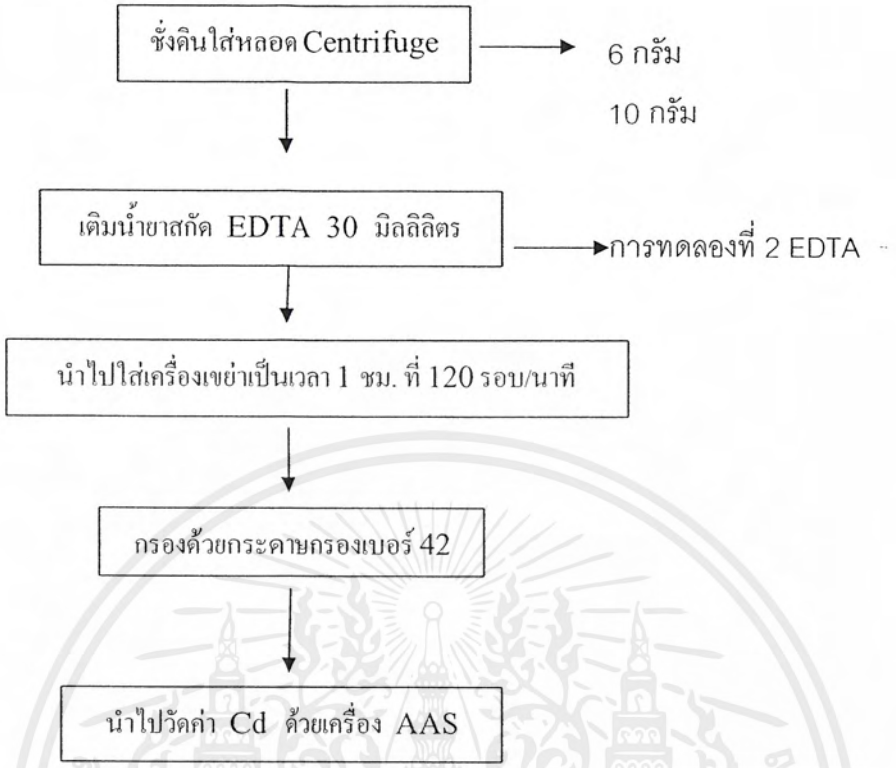
6. นำไปวัดค่าปริมาณแคดเมียมโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



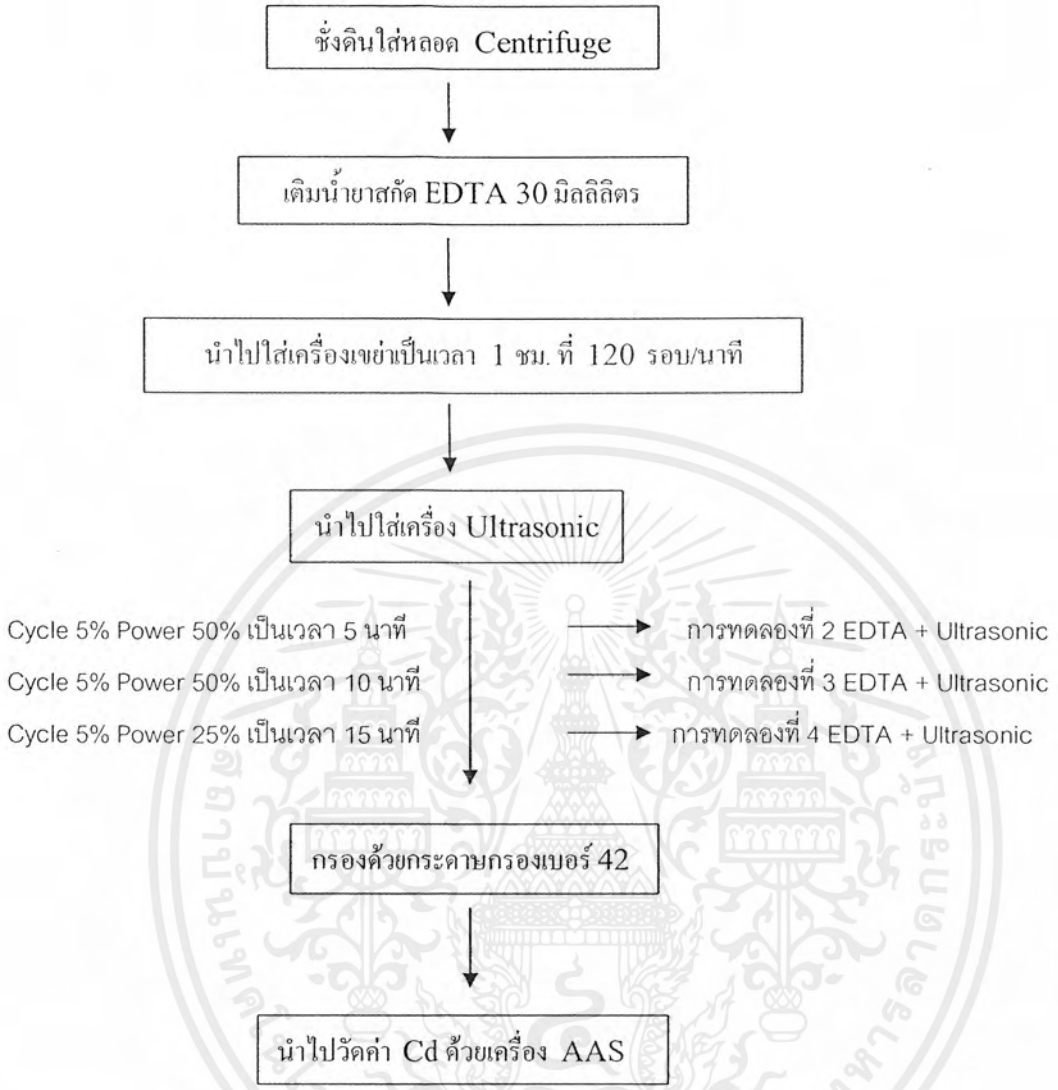
ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการสกัดแคดเมียมออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (Soil washing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 แสดงขั้นตอนการสกัดแคดเมียมออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (Soil washing) ร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค (Ultrasonic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การเตรียมน้ำยาสกัด EDTA

นำค่า Total Cd ที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณหาปริมาณสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Cd ที่สัดส่วนต่างๆกัน ดังนี้ (2:1), (5:1) นำ g.EDTA ที่ได้มาละลายน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 400 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นน้ำยาสกัดแคดเมียมออกจากดิน ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 3

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

Mole Cd = A/112400

A = ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน (mg/kg)

B = mole ของ EDTA:Cd

C = aliquot ของ EDTA ที่ใช้ในการสกัดแคดเมียม (มิลลิลิตร)

372.24 = มวลโมเลกุลของ EDTA (g.)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statical Pachage for the Social Science (SPSS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

1. สัดส่วนของอนุภาคดินขนาดต่างๆ ในตัวอย่างดิน ดังแสดงในภาพที่ 5

1.1) ดินจุดที่ 1

ในดินบน (0-15 ซม.) ดินที่ผ่านการแยกอนุภาค แยกอนุภาคได้เป็น 5 อนุภาค ซึ่งอนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดคือ อนุภาค <0.106 มิลลิเมตร (40%) ส่วนในดินล่าง อนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดคือ อนุภาค <0.106 มิลลิเมตร (34%) ดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 5

1.2) ดินจุดที่ 2

ในดินบน (0-15 ซม.) ดินที่ผ่านการแยกอนุภาค แยกอนุภาคได้เป็น 5 อนุภาค ซึ่งอนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดคือ อนุภาค <0.106 มิลลิเมตร (43%) ส่วนในดินล่าง อนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดคือ อนุภาค <0.106 มิลลิเมตร (48%) ดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 5

1.3) ดินจุดที่ 3

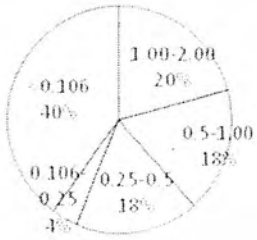
ในดินบน (0-15 ซม.) ดินที่ผ่านการแยกอนุภาค แยกอนุภาคได้เป็น 5 อนุภาค ซึ่งอนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดคือ อนุภาค <0.106 มิลลิเมตร (40%) ส่วนในดินล่าง อนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดคือ อนุภาค <0.106 มิลลิเมตร (30%) ดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณอนุภาคดินที่ผ่านการแยกอนุภาค

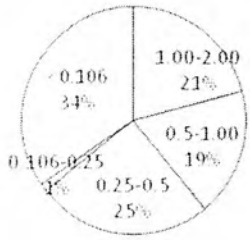
Dept (cm)	อนุภาค (mm.)	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3
0-15	2.00-1.00	20%	15%	20%
	0.50-1.00	18%	15%	13%
	0.25-0.5	18%	26%	13%
	0.106-0.25	4%	1%	14%
	<0.106	40%	43%	40%
15-30	2.00-1.00	21%	13%	18%
	0.50-1.00	19%	14%	13%
	0.25-0.5	25%	21%	38%
	0.106-0.25	1%	4%	1%
	<0.106	34%	48%	30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

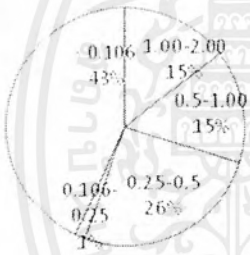
จุดที่ 1ดินบน (0-15)



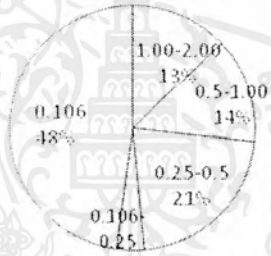
จุดที่ 1ดินล่าง (15-30)



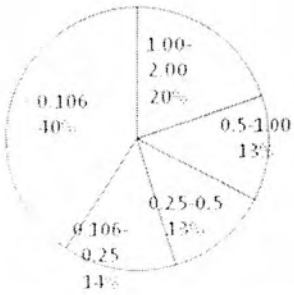
จุดที่ 2 ดินบน (0-15)



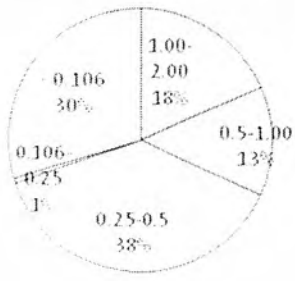
ดินจุดที่ 2 ดินล่าง(15-30)



ดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15)



ดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30)



ภาพที่ 5 ปริมาณอนุภาคดินแยกตามขนาดอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

2.1) จุดที่ 1 พบว่าทั้งดินบนและดินล่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง (pH 7.41-7.69) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ถือได้ว่าไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าค่อนข้างสูงถึงสูงมาก (2.00-9.65%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูง (12.79-21.50 me/100 g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (6.79-42.76 me/100 g soil) ในส่วนของ Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูง (0.52-3.37 me/100 g soil) ส่วน K มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง (0.18-0.48 me/100 g soil) และ Na มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (0.46-11.27 me/100 g soil) ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (53-267) ดังแสดงในตารางที่ 6

2.2) จุดที่ 2 พบว่าทั้งดินบนและดินล่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง (pH 7.57-7.88) ใกล้เคียงกับจุดที่ 1ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ถือได้ว่าไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าค่อนข้างสูงถึงสูงมาก (0.84-3.07%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูง (1.89-9.35 me/100 g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (6.06-49.55 me/100 g soil) ในส่วนของ Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูง (0.33-1.74 me/100 g soil) ส่วน K มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงต่ำ (0.05-0.20 me/100 g soil) และ Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก (0.13 - 3.60 me/100 g soil) ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (101-873) ดังแสดงในตารางที่ 7

2.3) จุดที่ 3 พบว่าทั้งดินบนและดินล่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง (pH 6.53-6.95)ซึ่งต่ำกว่า 2 จุดที่ผ่านมาเล็กน้อย ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ถือได้ว่าไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง (1.24 - 2.64%)ใกล้เคียงกับจุดที่ 2 แต่ต่ำกว่าจุดที่ 1 และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง (8.63-14.28 me/100 g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง (1.29-8.37 me/100 g soil) ในส่วนของ Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง (0.01-2.10 me/100 g soil) ส่วน K มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงต่ำ (0.07-0.24 me/100 g soil) และ Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก (0.26-25.04 me/100 g soil) ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก (22.05-197) ดังแสดงในตารางที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 1

Dept (cm.)	อนุภาค (mm.)	pH ดิน :น้ำ 1:1	EC (us/cm) 1:5	% OM	Exchangeable base (me/100 g soil)				% BS	CEC (me/100 g soil)	Total Cd (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na			
0-15	<2.00	7.57	139	3.23	42.76	3.37	0.28	0.68	267	17.58	7.64
	1.00-2.00	7.41	195	6.48	14.74	0.91	0.45	0.48	79.3	20.90	85.4
	0.50-1.00	7.61	184	7.04	16.06	0.77	0.42	0.50	95.9	18.51	71.2
	0.25-0.5	7.56	197	7.98	18.77	0.89	0.48	0.49	95.9	21.50	75.3
	0.106-0.25	7.52	193	7.65	23.57	1.00	0.35	11.27	184	19.68	67.0
	<0.106	7.59	166	9.65	11.02	0.52	0.34	0.61	79.4	15.73	65.0
15-30	<2.00	7.51	102	2.00	14.91	2.45	0.08	0.72	136	13.28	37.52
	1.00-2.00	7.63	124	3.76	6.79	0.52	0.26	0.53	53.00	15.30	139
	0.50-1.00	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
	0.106-0.25	7.61	119	3.32	8.64	1.10	0.26	0.50	77.10	13.63	128
	<0.106	7.69	124	3.13	12.07	2.21	0.18	0.35	116	12.79	137

ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 2

Dept (cm.)	อนุภาค (mm.)	pH ดิน :น้ำ 1:1	EC (us/cm) 1:5	%OM	Exchangeable base (me/100 g soil)				%BS	CEC (me/100 g soil)	Total Cd (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na			
0-15	<2.00	7.57	95.00	1.80	49.55	1.74	0.16	1.70	873	6.09	6.87
	1.00-2.00	7.79	117	2.84	7.17	0.40	0.20	0.13	84.5	9.35	36.41
	0.50-1.00	7.75	122	3.07	7.85	0.40	0.18	0.18	101	8.48	32.25
	0.25-0.5	7.75	109	2.47	8.68	0.45	0.18	0.13	109	8.66	21.50
	0.106-0.25	7.80	100	2.02	8.29	0.40	0.16	0.15	475	1.89	24.51
	<0.106	7.83	109	2.02	10.68	0.54	0.13	0.39	156	7.54	39.60
15-30	<2.00	7.80	89.00	1.44	22.03	0.50	0.09	0.22	533	4.28	19.29
	1.00-2.00	7.88	95.80	0.84	6.10	0.40	0.17	0.17	95.4	7.17	95.0
	0.50-1.00	7.86	97.80	1.15	7.04	0.40	0.15	3.60	509	2.20	90.8
	0.25-0.5	7.76	88.30	1.90	6.06	0.33	0.12	0.14	117	5.67	69.3
	0.106-0.25	7.76	88.50	2.06	11.03	0.49	0.05	0.38	219	5.44	77.5
	<0.106	7.65	99.00	2.18	10.72	0.57	0.08	0.79	169	7.16	85.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่8 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 3

Dept(cm.)	อนุภาค(mm.)	pH ดิน :น้ำ 1:1	EC (us/cm) 1:5	%OM	Exchangeable base (me/100 g soil)				%BS	CEC (me/100 gsoil)	Total Cd (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na			
0-15	<2.00	6.80	32	2.30	7.46	2.10	0.24	0.58	103	10.03	4.16
	1.00-2.00	6.95	29	2.14	1.57	0.48	0.17	0.31	22.19	11.53	5.10
	0.50-1.00	6.88	29	2.11	1.69	0.01	0.20	0.30	22.05	12.21	3.37
	0.25-0.5	6.77	25	1.88	1.99	0.02	0.16	0.30	27.61	10.48	3.86
	0.106-0.25	6.53	29	1.95	1.94	0.02	0.20	0.57	32.14	9.99	4.10
	<0.106	6.66	37	2.64	2.29	0.02	0.24	25.04	197	14.28	4.36
15-30	<2.00	6.62	25	1.92	8.37	1.95	0.20	0.51	102	10.79	1.47
	1.00-2.00	6.59	22	1.47	1.29	0.39	0.17	0.26	16.39	12.95	1.86
	0.50-1.00	6.62	22	1.32	8.00	1.83	0.15	0.26	84.6	12.10	2.16
	0.25-0.5	6.72	21	1.24	1.20	0.35	0.13	0.29	22.74	8.63	1.29
	0.106-0.25	6.69	23	1.38	1.59	0.47	0.07	0.39	26.38	9.52	1.78
	<0.106	6.61	27	1.82	1.69	0.57	0.18	0.75	25.01	12.76	2.40

3. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ในตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่า ดินจุดที่ 1 ความลึก (0-15 ซม.), (50-70 ซม.) เป็นดินร่วนปนทรายแป้ง ความลึก (15-30 ซม.) เป็นดินทราย ส่วนความลึก (30-50 ซม.) และ (70-100 ซม.) เป็นดินร่วนเหนียว ส่วนดินจุดที่ 2 ดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วน ยกเว้นที่ระดับ (50-70 ซม.) เป็นดินร่วน และดินจุดที่ 3 ดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วน ในส่วนของความหนาแน่นรวมของดินพบว่าดินจุดที่ 1 มีค่าความหนาแน่นรวม (1.03 g/cm^3) และค่า % moisture (95.44%) สูงกว่าดินจุดอื่นๆ เพราะในดินจุดที่ 1 นั้นเป็นดินนา ซึ่งดินนานั้นจัดเป็นดินเหนียวมีช่องว่างน้อยและมีน้ำท่วมตลอดเวลา มีการไถพรวนจึงมีความหนาแน่นมาก

4. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน

ปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในดินจุดที่ 1 ที่ติดกับแปลงนาและติดกับลำห้วยแม่ตาวมีปริมาณแคดเมียมสูงสุดคือ 161 mg/kg และในดินจุดที่ 2 มีปริมาณแคดเมียมในดินเท่ากับ 95.0 mg/kg ในขณะที่ดินจุดที่ 3 มีปริมาณแคดเมียมในดินเท่ากับ 4.36 mg/kg จะเห็นได้ว่าในดินจุดที่ 1 และจุดที่ 2 มีปริมาณแคดเมียมในดินมากกว่าดินจุดที่ 3 ถึง 37 เท่า และ 22 เท่าตามลำดับ อาจเป็นเพราะดินอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำแม่ตาว ที่ไหลลงผ่านเหมืองผาแดงมีตะกอนทับถมมากและมักจะพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแคดเมียมในดินล่าง (15-30 ซม.) มีปริมาณแคดเมียมมากกว่าในดินบนแสดงให้เห็นถึงการสะสมของแคดเมียมมาเป็นเวลานานไหลลงสู่ดินล่าง และในดินจุดที่ 3 ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงนั้นมีปริมาณแคดเมียมน้อยกว่าดินจุดอื่นๆ แต่ปริมาณแคดเมียมที่พบก็มีปริมาณมากพอที่ควรเฝ้าระวัง ซึ่งจะเห็นได้ว่าในดินจุดที่ 1 และในดินจุดที่ 2 มีระดับแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัดตามมาตรฐานระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอแลนด์ (20 mg/kg)

ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

Soils	Dept (cm)	Bulk Density (g/cm^3)	%Moisture	Particle Size Distribution (%)			Texture Class
				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	1.54	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	67.78	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาสกัดอีดีทีเอ (EDTA) โดยใช้เทคนิคการล้างดินร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค

5.1 ดินจุดที่ 1 (ดินบริเวณแปลงนา ติดลำห้วยแม่ตาว)

(1.) ดินบน (0-15 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 10 และภาพที่ 6

(1.1) อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (10.70%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (4.85%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (3.68%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (0.08%)

(1.2) อนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (11.23%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (5.95%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (2.80%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (0.53%)

(1.3) อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (11.19%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (8.17%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (6.53%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (0.77%)

(1.4) อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (15.73%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (8.19%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 3) (0.05%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (0.05%)

(1.5) อนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1)สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (13.94%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (8.83%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (5.80%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (0.60%)

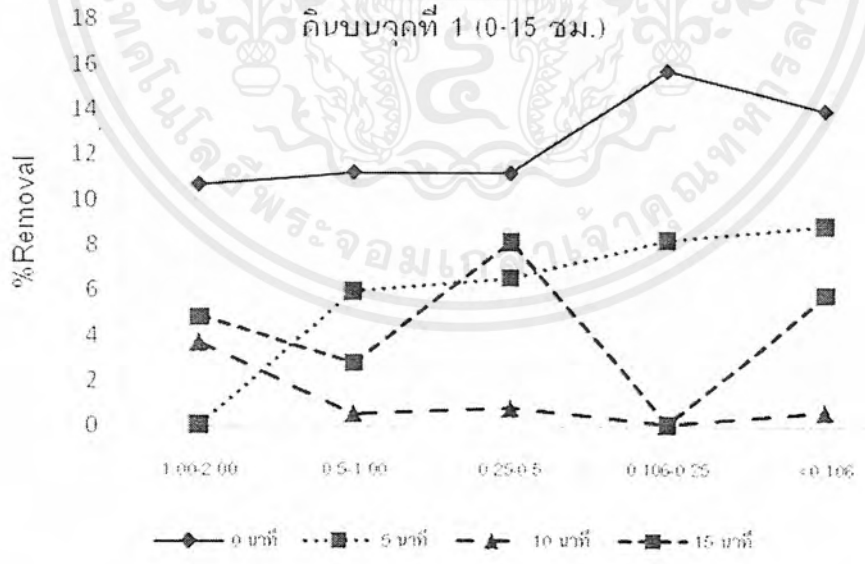
โดยสรุปพบว่า การใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1)มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุดในทุกๆขนาดอนุภาค ส่วนการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) และการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) พบว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) มากนัก ดังนั้นการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) จึงมีประสิทธิภาพในการสกัดดีที่สุด จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมสูงที่สุดที่อนุภาค <2.00 มิลลิเมตร จากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) ในขณะที่อนุภาคอื่นๆ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 1 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด

Treatment	Removal (%) ขนาดอนุภาค (mm.)				
	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
T1EDTA+Ultrasonic 0 นาที	10.70a	11.23a	11.19a	15.73a	13.94a
T1EDTA+Ultrasonic 5 นาที	0.08d	5.95b	6.53c	8.19b	8.83b
T1EDTA+Ultrasonic 10 นาที	3.68c	0.53d	0.77d	0.05c	0.60d
T1EDTA+Ultrasonic 15 นาที	4.85b	2.80c	8.17b	0.05c	5.80c

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.) ดินล่าง (15-30 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงใน ตารางที่ 11 และภาพที่ 7

(2.1) อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (7.43%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (3.11%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (3.09%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (0.45%)

(2.1) อนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (9.84%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (8.37%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (5.96%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (6.37%)

(2.3) อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (7.73%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (4.75%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (3.60%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (3.03%)

(2.4) อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (9.68%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (5.01%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (4.92%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 4) (4.45%)

(2.5) อนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (7.62%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 3) (5.01%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (4.92%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (4.45%)

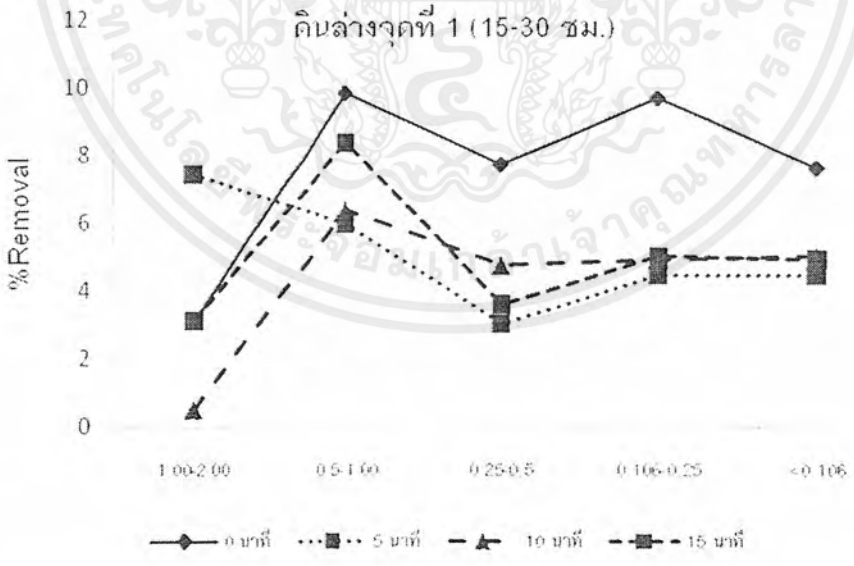
โดยสรุปพบว่า การใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1)มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุดในทุกๆขนาดอนุภาค ส่วนการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) และการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่2) พบว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) มากนัก ดังนั้นการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) จึงมีประสิทธิภาพในการสกัดดีที่สุด จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมสูงที่สุดที่อนุภาค <2.00 มิลลิเมตร จากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) ในขณะที่อนุภาคอื่นๆ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด

Treatment	Removal (%)				
	ขนาดอนุภาค (mm.)				
	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
T1EDTA+Ultrasonic 0 นาที	3.09b	9.84a	7.73a	9.68a	7.62a
T1EDTA+Ultrasonic 5 นาที	7.44a	5.96b	3.03c	4.45b	4.45b
T1EDTA+Ultrasonic 10 นาที	0.50c	6.37ab	4.75b	4.92b	5.01b
T1EDTA+Ultrasonic 15 นาที	3.11b	8.37ab	3.60bc	5.01b	4.92b

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ดินจุดที่ 2 (ดินบริเวณหมู่บ้านพะเด๊ะ)

(1.) ดินบน (0-15 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 12 และภาพที่ 8

(1.1) อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (20.76%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (13.15%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10นาที (ตำรับที่ 3) (7.52%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (6.91%)

(1.2) อนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (14.43%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (12.50%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (11.20%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (10.12%)

(1.3) อนุภาคขนาด 0.5-0.25 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (35.44%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (33.37%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (21.69%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (19.25%)

(1.4) อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (34.49%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (23.48%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (17.78%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (15.77%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1.5) อนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (11.78%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (6.62%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (4.98%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (2.20%)

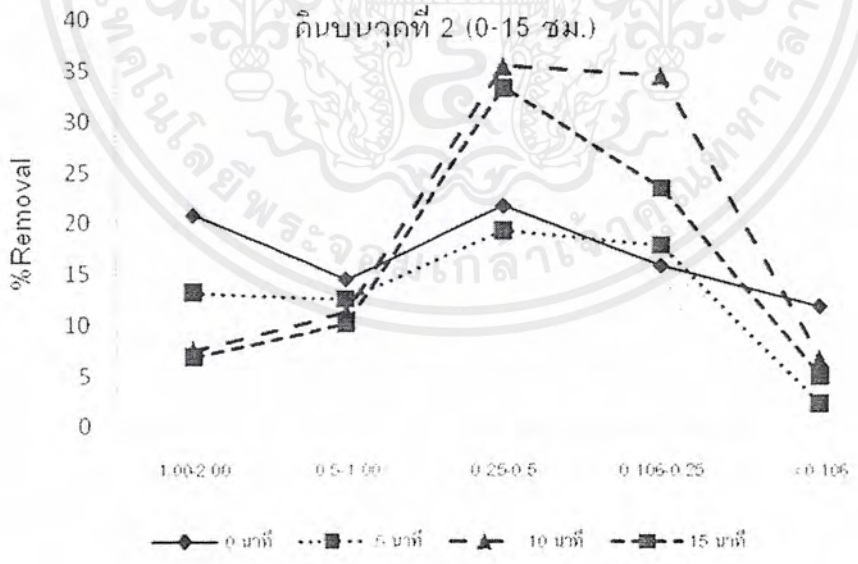
โดยสรุปพบว่า การใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่3) มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุดในทุกๆขนาดอนุภาค และการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) ส่วนการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) พบว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) มากนัก ดังนั้นการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) จึงมีประสิทธิภาพในการสกัดดีที่สุด จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมสูงที่สุดที่อนุภาค <2.00 มิลลิเมตร จากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) ในขณะที่อนุภาคอื่นๆ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 2 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด

Treatment	Removal (%)				
	ขนาดอนุภาค (mm.)				
	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
T1EDTA+Ultrasonic 0 นาที	20.76a	14.43a	21.69c	15.77b	11.78a
T1EDTA+Ultrasonic 5 นาที	13.15b	12.50b	19.25d	17.78b	2.20d
T1EDTA+Ultrasonic 10 นาที	7.52c	11.20c	35.44a	34.49a	6.62b
T1EDTA+Ultrasonic 15 นาที	6.91c	10.12d	33.37b	23.48ab	4.98c

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ดินล่าง (15-30 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 13 และภาพที่ 9

(2.1) อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (3.44%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (2.96%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (2.59%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (1.50%)

(2.2) อนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (3.81%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (3.53%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (3.28%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (1.45%)

(2.3) อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (4.57%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (3.76%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (3.06%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (2.88%)

(2.4) อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (4.01%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (3.04%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (2.68%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (1.15%)

(2.5) อนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (4.40%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 3) (2.04%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (1.73%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (1.05%)

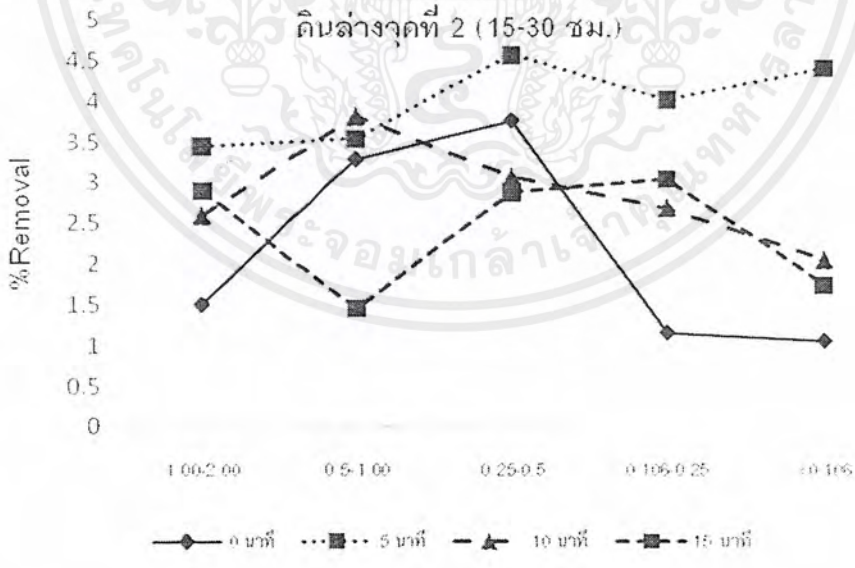
โดยสรุปพบว่า การใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุดในทุกๆขนาดอนุภาค ส่วนการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 (ตำรับที่ 3) และการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) พบว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) มากนัก ดังนั้นการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) จึงมีประสิทธิภาพในการลกัดดีที่สุด จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมสูงที่สุดที่อนุภาค <2.00 มิลลิเมตร จากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) ในขณะที่อนุภาคอื่นๆ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด

Treatment	Removal (%)				
	ขนาดอนุภาค (mm.)				
	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
T1EDTA+Ultrasonic 0 นาที	1.50a	3.28a	3.76ab	1.15c	1.05b
T1EDTA+Ultrasonic 5 นาที	3.44a	3.53a	4.57a	4.01a	4.40a
T1EDTA+Ultrasonic 10 นาที	2.59a	3.81a	3.06b	2.68b	2.04b
T1EDTA+Ultrasonic 15 นาที	2.90a	1.45b	2.88b	3.04b	1.73b

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ดินจุดที่ 3 (ห่างจากลำห้วยแม่ตาว ประมาณ 100 เมตร, จุดดินอ้างอิง)

(1.) ดินบน (0-15 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงใน ตารางที่ 14 และภาพที่ 10

(1.1) อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (23.80%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (20.80%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (17.76%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (15.46%)

(1.2) อนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (28.24%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (23.34%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (16.70%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (0.05%)

(1.3) อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (21.56%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (14.61%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (7.59%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (5.88%)

(1.4) อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (45.48%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (12.01%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (2.70%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (2.48%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1.5) อนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (17.61%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (4.43%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (2.93%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (0.55%)

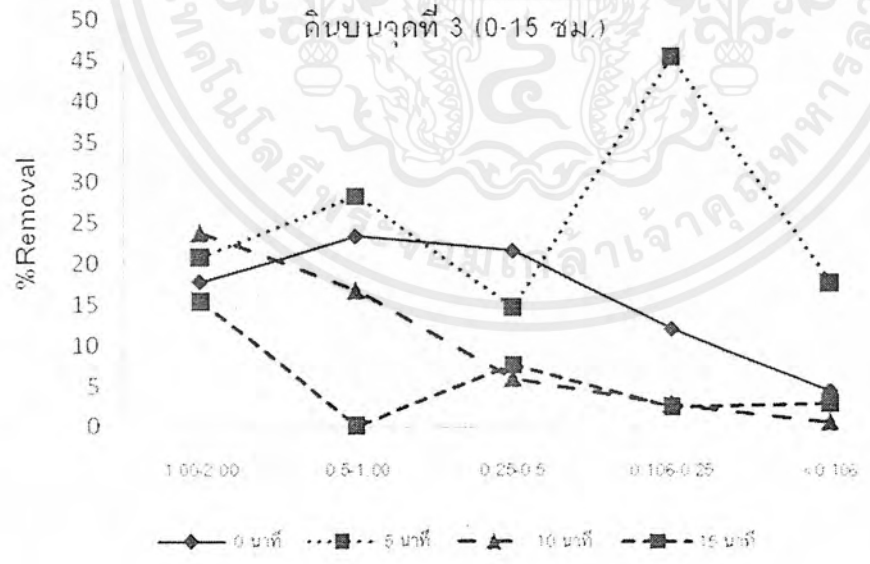
โดยสรุปพบว่า การใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุดในทุกๆขนาดอนุภาค ส่วนการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) และการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) พบว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) มากนัก ดังนั้นการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) จึงมีประสิทธิภาพในการสกัดดีที่สุด จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมสูงที่สุดที่อนุภาค <2.00 มิลลิเมตร จากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) ในขณะที่อนุภาคอื่นๆ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 3 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด

Treatment	Removal (%)				
	ขนาดอนุภาค (mm.)				
	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
T1EDTA+Ultrasonic 0 นาที	17.76a	23.34ab	21.56a	12.01b	4.43b
T1EDTA+Ultrasonic 5 นาที	20.80a	28.24a	14.61b	45.48a	17.61a
T1EDTA+Ultrasonic 10 นาที	23.80a	16.70b	5.88c	2.70c	0.55d
T1EDTA+Ultrasonic 15 นาที	15.46a	0.05c	7.59c	2.48c	2.93c

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) **ดินล่าง** (15-30 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 15 และภาพที่ 11

(2.1) อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (91.01%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (20.21%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (19.18%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (4.27%)

(2.2) อนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 1) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (92.40%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (17.36%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) (16.19%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (1.92%)

(2.3) อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (86.97%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (34.49%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (27.20%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (1.55%)

(2.4) อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (83.87%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) (69.60%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (21.08%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (8.69%)

(2.5) อนุภาคขนาด >0.106 มิลลิเมตร พบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 10 นาที (ตำรับที่ 3) สามารถสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (78.05%) รองลงมาคือการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 2) (57.22%) และการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) (14.38%) ส่วนการใช้น้ำยาอีดีทีเอร่วมและเขย่าร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) (4.72%)

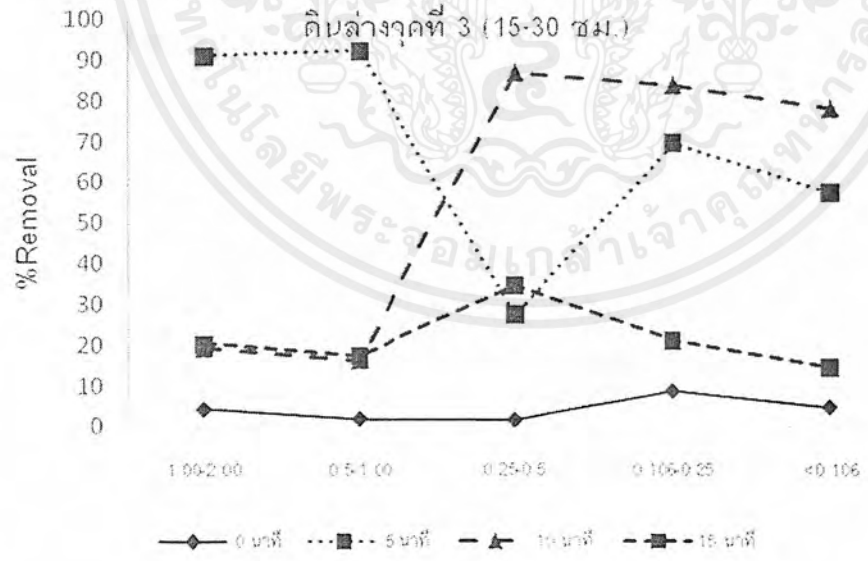
โดยสรุปพบว่า การใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2)มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุดในทุกๆขนาดอนุภาค ส่วนการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 0 นาที (ตำรับที่ 1) และการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 15 นาที (ตำรับที่ 4) พบว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค10 นาที (ตำรับที่ 3) มากนัก ดังนั้นการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอ 5 นาที (ตำรับที่ 2) จึงมีประสิทธิภาพในการสกัดดีที่สุด จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมสูงที่สุดที่อนุภาค <2.00 มิลลิเมตร จากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค 5 นาที (ตำรับที่ 2) ในขณะที่อนุภาคอื่นๆ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด

Treatment	Removal (%)				
	ขนาดอนุภาค (mm.)				
	1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
T1EDTA+Ultrasonic 0 นาที	4.27c	1.92c	1.55d	8.69d	4.72d
T1EDTA+Ultrasonic 5 นาที	91.01a	92.40a	27.20c	69.60b	57.22b
T1EDTA+Ultrasonic 10 นาที	19.18b	16.19b	86.97a	83.87a	78.05a
T1EDTA+Ultrasonic 15 นาที	20.21b	17.36b	34.49b	21.08c	14.38b

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 11 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ EDTA และอุลตร้าโซนิคในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ผลการทดลองภายหลังการกำจัดแคดเมียมออกจากดินโดยใช้อีดีทีเอ (EDTA) เป็นน้ำยาสกัดร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค

จากการคำนวณปริมาณแคดเมียม ที่เหลือหลังการบำบัด โดยอาศัยค่ามาตรฐานระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอแลนด์ (20 mg/kg) (ตารางที่ 16) พบว่าดินจุดที่ 1 ปริมาณแคดเมียมหลังผ่านการบำบัด (ตารางที่ 17) ในดินบน (0-15 ซม.) อนุภาคขนาด 1.00-2.00 ,0.5-1.00, 0.25-0.5 มิลลิเมตร มี Cd อยู่ในช่วง 10.70-11.23 mg/kg ซึ่งอยู่ในระดับที่พบในดินทั่วไป (A) ส่วนขนาดอนุภาค 0.25-0.106 และ <0.106 พบว่ามีระดับ Cd ในปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง (B) โดยมี Cd อยู่ในช่วง 15.73-13.94 mg/kg และในดินล่าง (15-30 ซม.) โดยในแต่ละอนุภาคดิน มีปริมาณแคดเมียมที่พบในปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง (B) โดยมี Cd อยู่ในช่วง 3.44-4.57 mg/kg

ดินจุดที่ 2 ในดินบน (0-15 ซม.) พบว่าอนุภาคขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร และ <0.106 มิลลิเมตร มี Cd อยู่ในช่วง 14.43-11.78 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) ส่วนอนุภาคอื่นๆ มี Cd อยู่ในช่วง 20.76-35.44 mg/kg .มีปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) และในดินล่าง (15-30 ซม.) ในแต่ละอนุภาคดิน มี 3.44-4.57 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่พบในดินทั่วไป (A)

ดินจุดที่ 3 ในดินบน (0-15 ซม.) พบว่าอนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร มี Cd อยู่ในช่วง 17.61 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) ส่วนอนุภาคอื่นๆ มี Cd อยู่ในช่วง 21.56-45.48 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) และในดินล่าง (15-30 ซม.) ในแต่ละอนุภาคดิน มี Cd อยู่ในช่วง 78.05-92.40 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้ง 3 จุด ในการพิจารณาระดับการปนเปื้อน

Soils	Dept (cm)	ระดับการปนเปื้อน (mg Cd kg^{-1})		
		A*	B	C
Soil -1	0-15	$\leq$ 13.07	13.08 - 20	$\geq$ 20
	15-30	$\leq$ 4.24	4.25 - 20	$\geq$ 20
Soil-2	0-15	$\leq$ 7.00	7.00 - 20	$\geq$ 20
	15-30	$\leq$ 5.78	5.79 - 20	$\geq$ 20
Soil-3	0-15	$\leq$ 9.73	9.74 - 20	$\geq$ 20
	15-30	$\leq$ 9.23	9.24 - 20	$\geq$ 20

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

A= ปริมาณที่พบในดินทั่วไป
B= ปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง
C= ปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด

ตารางที่ 17 ปริมาณแคดเมียมในดินหลังผ่านการบำบัดด้วยเทคนิคการล้างดินร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค

Soil	Dept (cm.)	Cd remained in soil (mg/kg^{-1})				
		ขนาดอนุภาค (mm.)				
		1.00-2.00	0.5-1.00	0.25-0.5	0.106-0.25	<0.106
Soil - 1	0 -15	10.70(A)	11.23(A)	11.19(A)	15.73(B)	13.94(B)
	15 -30	7.43(B)	9.84(B)	7.73(B)	9.68(B)	7.62(B)
Soil - 2	0 -15	20.76(C)	14.43(B)	35.44(C)	34.49(C)	11.78(B)
	15 -30	3.44(A)	3.81(A)	4.57(A)	4.01(A)	4.40(A)
Soil - 3	0 -15	23.80(C)	28.24(C)	21.56(C)	45.48(C)	17.61(B)
	15 -30	91.01(C)	92.40(C)	86.97(C)	83.87(C)	78.05(C)

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรใน ( ) แสดงถึงปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวังตามมาตรฐานระดับการปนเปื้อนในดินและ แหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอแลนด์ (20 mg/kg^{-1})

2) A= ปริมาณที่พบในดินทั่วไป
B= ปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง
C= ปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในดินทั้ง 3 จุด พบว่าดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง, ดินร่วนเหนียว ,ดินร่วนปนทราย และดินร่วน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดินทั้ง 3 จุดนั้น มีความเป็นด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง และดินบางจุดมีความเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง และค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) พบว่า ดินทั้ง 3 จุดไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) ดินทั้ง 3 จุด มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ดินทั้ง 3 จุดมีค่าอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงสูง ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable base) ของดินทั้ง 3 จุดนั้น Ca มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูง K มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง และNa มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก และค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (% BS) ของดินทั้ง 3 จุดนั้น มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก

ในจุดที่ 1 ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงที่สุดพบว่าการใช้อีดีทีเอร่วมกับอุลตร้าโซนิค 0 นาที มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มากที่สุด ในดินบนขนาดอนุภาค 0.25-0.106 มิลลิเมตร สามารถสกัดออกมาได้ 15.73% ในขณะที่อนุภาคอื่นๆสามารถสกัดได้ตั้งแต่ 10.70-13.94% สำหรับดินล่างให้ผลคล้ายกับดินบน คือ การปนเปื้อนของแคดเมียมสูงที่สุดพบว่าการใช้อีดีทีเอร่วมกับอุลตร้าโซนิค 0 นาที มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มากที่สุด ในดินล่างขนาดอนุภาค 0.5-1.00 มิลลิเมตร สามารถสกัดออกมาได้ 9.84% ในขณะที่อนุภาคอื่นๆสามารถสกัดได้ตั้งแต่ 3.09-9.68% หลังจากการบำบัดแล้วพบว่าในดินบน (0-15 ซม.) พบว่า อนุภาคขนาด 1.00-2.00 ,0.5-1.00, 0.25-0.5 มิลลิเมตร มี Cd อยู่ในช่วง 10.70-11.23 mg/kg ซึ่งอยู่ในระดับที่พบในดินทั่วไป (A) ส่วนขนาดอนุภาค 0.25-0.106 และ <0.106 พบว่ามีระดับ Cd ในปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง (B) โดยมี Cd อยู่ในช่วง 15.73-13.94 mg/kg และในดินล่าง (15-30 ซม.) โดยในแต่ละอนุภาคดิน มีปริมาณแคดเมียมที่พบในปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง (B) โดยมี Cd อยู่ในช่วง 3.44-4.57 mg/kg

ในจุดที่ 2 ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงที่สุดพบว่าการใช้อีดีทีเอร่วมกับอุลตร้าโซนิค 10 นาที มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มากที่สุด ในดินบนขนาดอนุภาค 0.25-0.5 มิลลิเมตร สามารถสกัดออกมาได้ 35.44% ในขณะที่อนุภาคอื่นๆสามารถสกัดได้ตั้งแต่ 6.62-34.49% สำหรับดินล่างให้ผล คือ การปนเปื้อนของแคดเมียมสูงที่สุดพบว่าการใช้อีดีทีเอร่วมกับอุลตร้าโซนิค 5 นาที มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มากที่สุด ในดินล่างขนาดอนุภาค 0.25-0.5 มิลลิเมตร สามารถสกัดออกมาได้ 4.57% ในขณะที่อนุภาคอื่นๆ สามารถสกัดได้ตั้งแต่ 3.44-4.40% หลังจากการบำบัดแล้วพบว่าในดินบน (0-15 ซม.) อนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาด 0.5-1.00 มิลลิเมตร และ <0.106 มิลลิเมตร มี Cd อยู่ในช่วง 14.43-11.78 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) ส่วนอนุภาคอื่นๆ มี Cd อยู่ในช่วง 20.76-35.44 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) และในดินล่าง (15-30 ซม.) ในแต่ละอนุภาคดิน มี 3.44-4.57 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่พบในดินทั่วไป (A)

ในจุดที่ 3 ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงที่สุดพบว่าการใช้อีดีทีเอร่วมกับอุลตร้าโซนิค 5 นาที มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มากที่สุด ในดินบนขนาดอนุภาค 0.25-0.106 มิลลิเมตร สามารถสกัดออกมาได้ 45.48% ในขณะที่อนุภาคอื่นๆสามารถสกัดได้ตั้งแต่ 14.61-28.24% สำหรับดินล่างให้ผลคล้ายกับดินบน คือ การปนเปื้อนของแคดเมียมสูงที่สุดพบว่าการใช้อีดีทีเอร่วมกับอุลตร้าโซนิค 5 นาที มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินได้มากที่สุด ในดินล่างขนาดอนุภาค 0.5-1.00 มิลลิเมตร สามารถสกัดออกมาได้ 92.40% ในขณะที่อนุภาคอื่นๆสามารถสกัดได้ตั้งแต่ 27.20-91.01% หลังจากการบำบัดแล้วพบว่าในดินบน (0-15 ซม.) อนุภาคขนาด <0.106 มิลลิเมตร มี Cd อยู่ในช่วง 17.61 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) ส่วนอนุภาคอื่นๆ มี Cd อยู่ในช่วง 21.56-45.48 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) และในดินล่าง (15-30 ซม.) ในแต่ละอนุภาคดินมี Cd อยู่ในช่วง 78.05-92.40 mg/kg มีปริมาณแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C)

จากการทดลองพบว่าการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอสามารถสกัดแคดเมียมออกได้เพียงเล็กน้อย ส่วนการใช้อุลตร้าโซนิคเข้าช่วยในการสกัดร่วมกับน้ำยาสกัดอีดีทีเอสามารถที่จะสกัดแคดเมียมออกมาได้เพิ่มมากขึ้นในดินจุดที่ 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กิตติพงศ์ เหล็กกล้า. 2549. **ประสิทธิภาพของอัลตร้าโซนิคในการตรวจวัดปริมาณไขมันในน้ำนมที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรมแผนที่ทหาร. 2522. **แผนที่แสดงอำเภอแม่สอด.**

คะนึงนิจ นิชานนท์ และ ฉันทนา ผดุงทศ. 2548. การจัดการปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพจากสิ่งแวดล้อม: กรณีแคดเมียมที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก, **วารสารการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม กระทรวงสาธารณสุข** 28 (3) กค.-กย.:39-46.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดินและการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า**,เล่มที่ 1. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

คมสรร ศิริติกุล และ ปนัดดา รุจะศิริ.2547. **การล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ.** โครงงานพิเศษส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฉัตรสินี สุรเสน.2545. **การกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการกรองด้วยเปลือกไข่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตร.

ตีรณรรถ ศรีสุนนท์. 2549. **การปนเปื้อนปรอท ตะกั่ว และแคดเมียม จากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทป่าไม้ และเกษตรกรรม ในลุ่มน้ำบางประกง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทัตพล แจ่มจำรัส.2551. **การกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาสกัดแคลเซียมคลอไรด์($CaCl_2$)โดยใช้เทคนิคการล้างดินร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัทชธีร์ชา ศรีวิริยานุภาพ. 2545. **การล้างดินและกากตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะแคดเมียมโดยใช้สารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับโซเดียมอีดีทีเอ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มนตรี ไข่แก้ว. 2543. **รูปแบบและการสะสมปริมาณตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และทองแดงในน้ำบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2540. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรดี แจ่มอุลิตรัตน์. 2547. **วิธีการตรวจวิเคราะห์ปรอท และแคดเมียมในดินตะกอนจากอ่าวไทย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Allen.,H , Huang.,C,Bailey.,G and Bowers.,A. 1994. **Metel Speciation andContamination of soil.** Lewis Publishers an imprint of CRC Press, New york.

Hwang,S.S., Park, J.S., and Namkoong, W., 2007. Ultrasonic-Assisted Extraction to Release Heavy Metals from Contaminated Soil. **J. Ind. Eng. Chem,**Vol13, No.4, 650-656.

Makino, T., Sugahara, K., Sakurai, Y., Takmiya, H., Kamiya, T., Sasaki, K., Itou, T., and Sekiya, N., 2006. Remediation of cadmium-contaminated paddy soil by washing whit chemicals: Effect of Soil washing on cadmium uptake by soybean.**Chemosphere.** 67:748-754.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Soils	Dept(cm.)	ขนาดอนุภาค	K	Na	Ca	Mg
			----meq/100 g soil----			
Soil-1	0-15	<2.00 mm.	0.28	0.68	42.76	3.37
		2.00-1.00 mm.	0.45	0.48	14.74	0.91
		0.50-1.00 mm.	0.42	0.50	16.06	0.77
		0.25-0.5 mm.	0.48	0.49	18.77	0.89
		0.106-0.25 mm.	0.35	11.27	23.57	1.00
		<0.106 mm.	0.34	0.61	11.02	0.52
Soil-1	15-30	<2.00 mm.	0.08	0.72	14.91	2.45
		2.00-1.00 mm.	0.26	0.53	6.79	0.52
		0.50-1.00 mm.	0.28	0.46	10.84	0.98
		0.25-0.5 mm.	0.29	0.53	9.79	0.69
		0.106-0.25 mm.	0.26	0.50	8.64	1.10
		<0.106 mm.	0.18	0.35	12.07	2.21
Soil-2	0-15	<2.00 mm.	0.16	1.70	49.55	1.74
		2.00-1.00 mm.	0.20	0.13	7.17	0.40
		0.50-1.00 mm.	0.18	0.18	7.85	0.40
		0.25-0.5 mm.	0.18	0.13	8.68	0.45
		0.106-0.25 mm.	0.16	0.15	8.29	0.40
		<0.106 mm.	0.13	0.39	10.68	0.54
Soil-2	15-30	<2.00 mm.	0.09	0.22	22.03	0.50
		2.00-1.00 mm.	0.17	0.17	6.10	0.40
		0.50-1.00 mm.	0.15	3.60	7.04	0.40
		0.25-0.5 mm.	0.12	0.14	6.06	0.33
		0.106-0.25 mm.	0.05	0.38	11.03	0.49
		<0.106 mm.	0.08	0.79	10.72	0.57
Soil-3	0-15	<2.00 mm.	0.24	0.58	7.46	2.10
		2.00-1.00 mm.	0.17	0.31	1.57	0.48
		0.50-1.00 mm.	0.20	0.30	1.69	0.50
		0.25-0.5 mm.	0.16	0.30	1.99	0.44
		0.106-0.25 mm.	0.20	0.57	1.94	0.50
		<0.106 mm.	0.24	25.04	2.29	0.62
Soil-3	15-30	<2.00 mm.	0.20	0.51	8.37	1.95
		2.00-1.00 mm.	0.17	0.26	1.29	0.39
		0.50-1.00 mm.	0.15	0.26	8.00	1.83
		0.25-0.5 mm.	0.13	0.29	1.20	0.35
		0.106-0.25 mm.	0.07	0.39	1.59	0.47
		<0.106 mm.	0.18	0.75	1.69	0.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 แสดงปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ จากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค ในดินจุดที่ 1

Soils	Dept (cm.)	ขนาดอนุภาค (mm.)	Replicate	Treatment 1 Utrasonic0	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 2 Utrasonic5	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 3trasonic10	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 4 Utrasonic15	Dirutetion	Average %Removal
Soil-1	0-15	1.00 - 2.00	1	0.89	5	10.42	0.05	2	0.05	0.66	2	3.10	0.95	2	4.45
		1.00 - 2.00	2	0.95	5	11.12	0.05	2	0.09	0.91	2	4.272	1.07	2	5.03
		1.00 - 2.00	3	0.56	5	10.55	0.05	2	0.15	0.05	2	3.686	1.08	2	5.09
		0.5 - 1.00	1	0.74	5	10.39	1.05	2	5.91	0.05	2	0.17	1.02	2	2.80
		0.5 - 1.00	2	0.82	5	11.51	1.05	2	5.93	0.10	2	0.59	0.56	2	3.15
		0.5 - 1.00	3	0.84	5	11.79	1.07	2	6.01	0.15	2	0.84	0.43	2	2.44
		0.25 - 0.5	1	0.80	5	10.62	1.05	2	5.60	0.17	2	0.90	0.44	2	8.17
		0.25 - 0.5	2	0.83	5	11.02	1.27	2	6.75	1.14	2	0.77	0.68	2	9.07
		0.25 - 0.5	3	0.90	5	11.95	1.36	2	7.23	0.12	2	0.64	0.54	2	7.27
		0.106 - 0.5	1	1.06	5	15.88	1.37	2	8.19	0.05	2	0.05	0.05	2	0.05
		0.106 - 0.25	2	1.04	5	15.52	1.37	2	8.19	0.05	2	0.05	0.05	2	0.05
		0.106 - 0.25	3	1.26	5	15.80	1.37	2	8.19	0.05	2	0.05	0.05	2	0.05
		< 0.106	1	0.81	5	12.46	1.47	2	9.08	0.14	2	0.91	0.67	2	5.80
		< 0.106	2	0.96	5	14.76	1.43	2	8.83	0.09	2	0.60	0.36	2	5.67
		< 0.106	3	0.95	5	14.61	1.39	2	8.58	0.05	2	0.30	0.38	2	5.93

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Soils	Dept (cm.)	ขนาดอนุภาค (mm.)	Replicate	Treatment 1 Utrasonic0	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 2 Utrasonic5	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 3trasonic10	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 4 Utrasonic15	Dirutetion	Average %Removal
Soil-2	15-30	1.00 - 2.00	1	0.45	5	3.23	0.58	5	7.43	0.06	5	0.49	0.20	10	2.87
		1.00 - 2.00	2	0.39	5	2.80	0.88	5	6.37	0.08	5	0.61	0.19	10	2.74
		1.00 - 2.00	3	0.45	5	3.23	1.18	5	8.48	0.08	5	0.25	0.25	10	3.71
		0.5 - 1.00	1	1.85	10	9.84	1.25	5	8.82	0.96	5	6.81	0.28	10	8.37
		0.5 - 1.00	2	1.97	10	9.60	0.05	5	5.96	1.18	5	8.34	1.11	10	7.85
		0.5 - 1.00	3	1.38	10	10.08	0.44	5	3.10	0.56	5	3.97	1.26	10	8.89
		0.25 - 0.5	1	1.42	10	8.36	0.44	5	2.73	0.53	5	4.17	1.26	10	3.60
		0.25 - 0.5	2	1.51	10	7.36	0.44	5	2.73	0.51	5	4.04	0.57	10	3.54
		0.25 - 0.5	3	1.27	10	7.47	0.58	5	3.64	0.77	5	6.04	0.59	10	3.67
		0.106 - 0.25	1	0.94	10	9.68	0.05	5	0.05	0.05	5	0.05	0.05	10	0.05
		0.106 - 0.25	2	0.94	10	9.68	0.05	5	0.05	0.05	5	0.05	0.05	10	0.05
		0.106 - 0.25	3	0.94	10	9.68	0.5	5	0.05	0.05	5	0.05	0.05	10	0.05
		<0.106	1	1.25	10	7.02	0.64	5	4.71	0.70	5	5.13	0.52	5	3.80
		<0.106	2	1.17	10	6.40	0.62	5	4.53	0.73	5	5.39	0.75	5	5.53
		<0.106	3	0.77	10	9.46	0.56	5	4.10	0.61	5	4.50	0.74	5	5.45

ตารางผนวกที่ 3 แสดงปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ จากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค ในดินจุดที่ 2

Soils	Dept (cm.)	ขนาดอนุภาค (mm.)	Replicate	Treatment 1 Utrasonic0	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 2 Utrasonic5	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 3trasonic10	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 4 Utrasonic15	Dirutetion	Average %Removal
Soil-1	0-15	1.00 - 2.00	1	0.70	5	20.68	0.05	2	13.15	0.60	2	6.69	0.70	2	7.70
		1.00 - 2.00	2	0.79	5	20.84	1.02	2	11.28	0.58	2	6.42	0.63	2	6.93
		1.00 - 2.00	3	0.94	5	20.76	1.36	2	15.02	0.86	2	9.45	0.55	2	6.09
		0.5 - 1.00	1	1.84	5	14.15	1.01	2	12.58	0.90	2	11.16	0.61	2	10.12
		0.5 - 1.00	2	2.00	5	15.10	1.00	2	12.41	0.91	2	11.29	0.84	2	10.48
		0.5 - 1.00	3	1.93	5	14.04	0.52	2	12.50	1.89	2	23.54	0.78	2	9.77
		0.25 - 0.5	1	1.48	5	23.44	0.70	10	19.25	1.90	2	35.49	0.81	2	33.37
		0.25 - 0.5	2	1.53	5	19.94	0.20	10	18.88	1.91	2	35.53	1.74	2	32.39
		0.25 - 0.5	3	1.49	5	21.69	0.21	10	19.62	1.89	2	35.31	1.84	2	34.36
		0.106 - 0.25	1	1.78	5	14.54	0.22	10	18.52	1.94	2	31.69	1.81	2	29.58
		0.106 - 0.25	2	1.86	5	14.55	0.20	10	17.05	1.94	2	31.72	1.88	2	30.77
		0.106 - 0.25	3	1.94	5	18.21	0.05	10	17.78	0.98	2	40.06	0.24	2	10.07
		< 0.106	1	0.45	5	11.36	0.03	10	1.56	0.23	2	5.96	0.22	5	5.58
		< 0.106	2	0.35	5	11.35	0.05	10	2.77	0.24	2	6.26	0.16	5	4.11
		< 0.106	3	0.50	5	12.62	0.04	10	2.27	0.75	2	7.64	0.20	5	5.25

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Soils	Dept (cm.)	ขนาดอนุภาค (mm.)	Replicate	Treatment 1 Utrasonic0	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 2 Utrasonic5	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 3trasonic10	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 4 Utrasonic15	Dirutetion	Average %Removal
Soil-2	15-30	1.00 - 2.00	1	0.41	2	1.72	0.05	1	3.44	0.77	1	1.63	0.30	1	5.64
		1.00 - 2.00	2	0.31	2	1.30	1.80	1	3.78	0.85	1	1.80	0.75	1	1.59
		1.00 - 2.00	3	0.68	2	1.67	1.47	1	3.10	0.20	1	4.35	0.78	1	1.64
		0.5 - 1.00	1	1.43	1	3.15	1.64	1	3.61	0.20	10	4.51	0.74	1	1.64
		0.5 - 1.00	2	1.38	1	3.04	1.42	1	3.13	0.20	10	4.44	0.68	1	1.50
		0.5 - 1.00	3	1.67	1	3.67	1.74	1	3.84	1.13	10	2.48	0.54	1	1.20
		0.25 - 0.5	1	1.38	1	3.98	1.66	1	4.81	1.06	1	3.06	0.67	1	1.93
		0.25 - 0.5	2	1.61	1	3.04	1.67	1	4.82	1.16	1	3.36	1.15	1	3.32
		0.25 - 0.5	3	1.61	1	3.67	1.41	1	4.07	0.95	1	2.75	1.17	1	3.38
		0.106 - 0.25	1	0.48	1	1.23	1.34	1	3.47	0.97	1	2.51	1.17	1	3.02
		0.106 - 0.25	2	0.43	1	1.11	1.42	1	3.68	1.01	1	2.63	1.20	1	3.10
		0.106 - 0.25	3	0.43	1	1.11	1.89	1	4.87	1.12	1	2.90	1.15	1	2.98
		<0.106	1	0.08	5	0.93	1.89	1	4.43	1.05	1	2.48	1.17	1	2.76
		<0.106	2	0.10	5	1.11	1.85	1	4.36	1.00	1	2.36	0.53	1	1.24
		<0.106	3	0.09	5	1.11	0.05	1	4.40	0.54	1	1.27	0.50	1	1.18

ตารางผนวกที่ 4 แสดงปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ จากการใช้น้ำยาสกัดอีดีทีเอร่วมกับการใช้อุลตร้าโซนิค ในดินจุดที่ 3

Soils	Dept (cm.)	ขนาดอนุภาค (mm)	Replicate	Treatment 1 Utrasonic0	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 2 Utrasonic5	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 3trasonic10	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 4 Utrasonic15	Dirutetion	Average %Removal
Soil-1	0-15	1.00 - 2.00	1	0.45	1	17.64	0.13	1	20.80	0.61	1	23.96	0.53	1	33.72
		1.00 - 2.00	2	0.47	1	18.43	0.48	1	18.90	0.60	1	23.64	0.19	1	7.72
		1.00 - 2.00	3	0.49	1	17.21	0.57	1	22.70	0.20	1	23.80	0.38	1	4.94
		0.5 - 1.00	1	0.39	1	23.14	0.60	1	35.96	0.26	1	15.66	0.05	1	0.05
		0.5 - 1.00	2	0.29	1	23.21	0.27	1	28.24	0.29	1	17.74	0.05	1	0.05
		0.5 - 1.00	3	0.50	1	23.67	0.34	1	20.53	0.15	1	16.70	0.05	1	0.05
		0.25 - 0.5	1	0.37	1	21.17	0.30	1	15.85	0.12	1	6.42	0.17	1	9.11
		0.25 - 0.5	2	0.41	1	21.24	0.25	1	13.36	0.12	1	6.42	0.12	1	6.52
		0.25 - 0.5	3	0.43	1	22.28	0.98	1	14.61	0.09	1	4.81	0.13	1	7.15
		0.106 - 0.25	1	0.25	1	12.19	0.92	1	45.22	0.05	1	2.78	0.14	1	2.48
		0.106 - 0.25	2	0.29	1	12.14	0.93	1	45.75	0.05	1	2.63	0.05	1	2.87
		0.106 - 0.25	3	0.24	1	11.70	0.38	1	45.48	0.05	1	2.70	0.043	1	2.09
		< 0.106	1	0.10	1	4.58	0.38	1	17.70	0.05	1	0.27	0.05	1	2.70
		< 0.106	2	0.09	1	4.12	0.38	1	17.52	0.05	1	0.82	0.06	1	3.16
		< 0.106	3	0.10	1	4.58	1.18	1	17.61	0.18	1	0.55	0.05	1	2.93

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Soils	Dept (cm.)	ขนาดอนุภาค (mm.)	Replicate	Treatment 1 Utrasonic0	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 2 Utrasonic5	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 3trasonic10	Dirutetion	Average %Removal	Treatment 4 Utrasonic15	Dirutetion	Average %Removal
Sand-2	15-30	1.00 - 2.00	1	0.05	1	4.23	1.21	1	128.14	0.18	1	19.57	0.05	1	20.21
		1.00 - 2.00	2	0.06	1	4.34	1.09	1	115.45	0.20	1	22.01	0.17	1	18.30
		1.00 - 2.00	3	0.05	1	4.23	1.05	1	111.21	0.15	1	15.97	0.20	1	18.30
		0.5 - 1.00	1	0.05	1	1.92	0.98	1	91.29	0.17	1	16.57	0.18	1	16.66
		0.5 - 1.00	2	0.05	1	1.92	0.98	1	91.01	0.05	1	15.37	0.19	1	18.05
		0.5 - 1.00	3	0.05	1	1.92	1.02	1	94.90	0.05	1	16.63	0.30	1	17.361
		0.25 - 0.5	1	0.05	1	1.55	1.06	1	27.20	0.05	1	86.97	0.22	1	35.19
		0.25 - 0.5	2	0.05	1	1.55	0.18	1	28.37	0.27	1	85.27	0.21	1	33.79
		0.25 - 0.5	3	0.05	1	1.55	0.16	1	26.04	0.28	1	88.68	0.17	1	34.49
		0.106 - 0.25	1	0.08	1	8.98	0.26	1	69.60	1.78	1	83.87	0.18	1	20.33
		0.106 - 0.25	2	0.09	1	8.11	0.68	1	76.40	0.68	1	76.40	0.19	1	21.68
		0.106 - 0.25	3	0.09	1	8.98	0.55	1	62.80	0.81	1	91.34	0.18	1	21.23
		<0.106	1	0.06	1	5.00	0.67	1	55.83	0.86	1	74.08	0.17	1	14.41
		<0.106	2	0.05	1	4.16	0.63	1	52.50	0.92	1	77.00	0.16	1	14.08
		<0.106	3	0.06	1	5.00	0.76	1	63.33	0.99	1	83.08	0.17	1	14.66

ตารางผนวกที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 1

จุดที่ 1 ดินบน อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
5min	3	.0867			
10min	3		3.6863		
15min	3			4.8587	
0min	3				10.7007
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 1 ดินบน อนุภาคขนาด 0.50-1.00 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
10min	3	.5377			
15min	3		2.8030		
5min	3			5.9570	
0min	3				11.2360
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่ 1 ดินบน อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
10min	3	.7780			
5min	3		6.5303		
15min	3			8.1740	
0min	3				11.1997
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 1 ดินบน อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
10min	3	.0500		
15min	3	.0500		
5min	3		8.1910	
0min	3			15.7363
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่ 1 ดินบน อนุภาคขนาด <0.106 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
10min	3	.6053			
15min	3		5.8073		
5min	3			8.8350	
0min	3				13.9487
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 1 ดินล่าง อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
10min	3	.4560		
0min	3		3.0933	
15min	3		3.1127	
5min	3			7.4313
Sig.		1.000	.970	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่ 1 ดินล่าง อนุภาคขนาด 0.50-1.00 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
5min	3	5.9650	
10min	3	6.3780	6.3780
15min	3	8.3763	8.3763
0min	3		9.8453
Sig.		.161	.057

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 1 ดินล่าง อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
5min	3	3.0373		
15min	3	3.6053	3.6053	
10min	3		4.7553	
0min	3			7.7347
Sig.		.334	.071	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่ 1 ดินล่าง อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มม.

% Removal

Duncan

		Subset for alpha = 0.05	
treatt	N	1	2
5min	3	4.4500	
15min	3	4.9297	
10min	3	5.0123	
0min	3		9.6880
Sig.		.273	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 1 ดินล่าง อนุภาคขนาด <0.106 มม.

% Removal

Duncan

		Subset for alpha = 0.05	
treatt	N	1	2
5min	3	4.4500	
15min	3	4.9297	
10min	3	5.0123	
0min	3		7.6277
Sig.		.521	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 2

จุดที่ 2 ดินบน อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
15min	3	6.9100		
10min	3	7.5253		
5min	3		13.1560	
0min	3			20.7633
Sig.		.584	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 2 ดินบน อนุภาคขนาด 0.50-1.00 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
15min	3	10.1273			
10min	3		11.2083		
5min	3			12.5023	
0min	3				14.4330
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

จุดที่ 2 ดินบน อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
5min	3	19.2560			
0min	3		21.6930		
15min	3			33.3770	
10min	3				35.4483
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 2 ดินบน อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
0min	3	15.7703	
5min	3	17.7883	
15min	3	23.4817	23.4817
10min	3		34.4947
Sig.		.194	.068

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

จุดที่ 2 ดินบน อนุภาคขนาด <0.106 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
5min	3	2.2057			
15min	3		4.9833		
10min	3			6.6230	
0min	3				11.7813
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 2 ดินล่าง อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05
		1
0min	3	1.5030
10min	3	2.5967
15min	3	2.9620
5min	3	3.4470
Sig.		.150

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

จุดที่ 2 ดินล่าง อนุภาคขนาด 0.50-1.00 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
15min	3	1.4507	
0min	3		3.2893
5min	3		3.5317
10min	3		3.8177
Sig.		1.000	.358

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 2 ดินล่าง อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
15min	3	2.8833	
10min	3	3.0610	
0min	3	3.7690	3.7690
5min	3		4.5717
Sig.		.069	.083

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

จุดที่ 2 ดินล่าง อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0min	3	1.1530		
10min	3		2.6840	
15min	3		3.0400	
5min	3			4.0113
Sig.		1.000	.301	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 2 ดินล่าง อนุภาคขนาด <0.106 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
0min	3	1.0530	
15min	3	1.7300	
10min	3	2.0430	
5min	3		4.4013
Sig.		.072	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 3

จุดที่ 3 ดินบน อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05
		1
15min	3	15.4637
0min	3	17.7647
5min	3	20.8040
10min	3	23.8040
Sig.		.264

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 3 ดินบน อนุภาคขนาด 0.50-1.00 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
15min	3	.0500		
10min	3		16.7063	
0min	3		23.3433	23.3433
5min	3			28.2490
Sig.		1.000	.070	.162

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

จุดที่ 3 ดินบน อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
10min	3	5.8897		
15min	3	7.5990		
5min	3		14.6113	
0min	3			21.5650
Sig.		.087	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 3 ดินบน อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
15min	3	2.4880		
10min	3	2.7070		
0min	3		12.0160	
5min	3			45.4880
Sig.		.357	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

จุดที่ 3 ดินบน อนุภาคขนาด <0.106 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
10min	3	.5503			
15min	3		2.9353		
0min	3			4.4340	
5min	3				17.6143
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 3 ดินล่าง อนุภาคขนาด 1.00-2.00 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0min	3	4.2717		
10min	3		19.1890	
15min	3		20.2113	
5min	3			91.0190
Sig.		1.000	.504	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

จุดที่ 3 ดินล่าง อนุภาคขนาด 0.50-1.00 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0min	3	1.9260		
10min	3		16.1947	
15min	3		17.3613	
5min	3			92.4073
Sig.		1.000	.265	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 3 ดินล่าง อนุภาคขนาด 0.25-0.5 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
0min	3	1.5500			
5min	3		27.2093		
15min	3			34.4960	
10min	3				86.9763
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

จุดที่ 3 ดินล่าง อนุภาคขนาด 0.106-0.25 มม.

% Removal

Duncan

treatt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
0min	3	8.6967			
15min	3		21.0860		
5min	3			69.6063	
10min	3				83.8760
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

จุดที่ 3 ดินล่าง อนุภาคขนาด <0.106 มม.

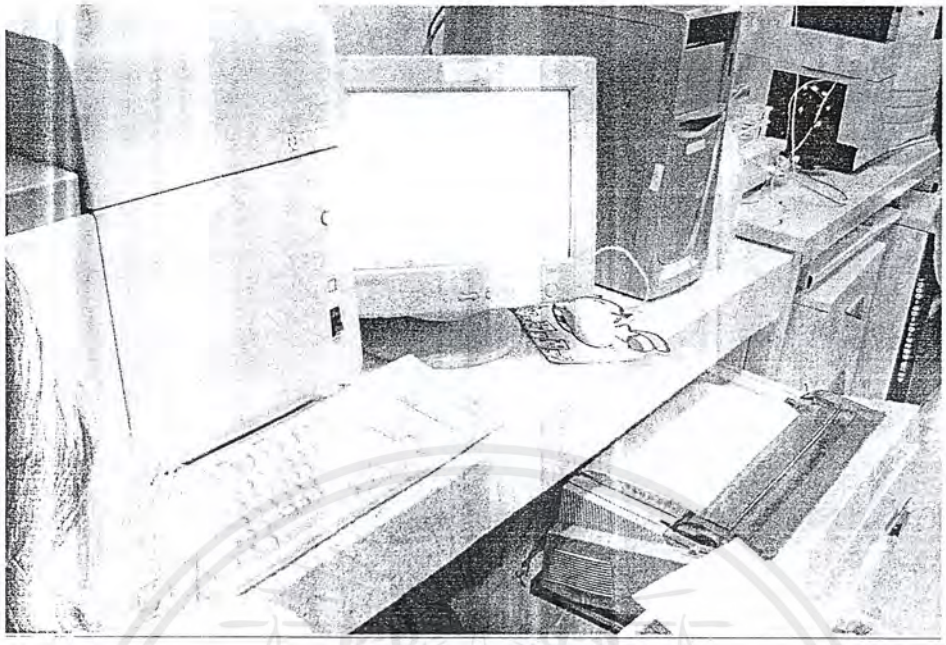
% Removal

Duncan

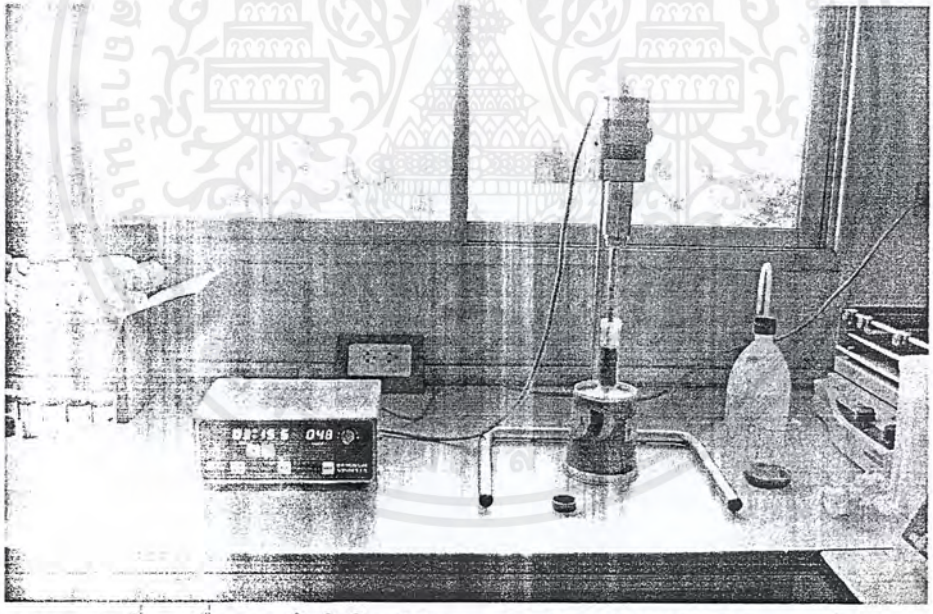
treatt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
0min	3	4.7223			
15min	3		14.3890		
5min	3			57.2220	
10min	3				78.0553
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 1 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)



ภาพผนวกที่ 2 เครื่องอุลตร้าโซนิค (Ultrasonic) Model:HD 2070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้