# การสกัดแคดเมียม (Cd) ออกจากดินด้วยเทคนิคการชะล้างดิน (Soil Flushing) โดยใช้อีดีทีเอ (EDTA) เป็นน้ำยาสกัด

# The Effect of Soil Flushing for Cadmium Removal from Contaminated Soil Using Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA) as Flushing Solution


**สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช**

**หลักสูตรปฐพีวิทยา**

**คณะเทคโนโลยีการเกษตร**

**Department of Soil Science**

**Faculty of Agricultural Technology**

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

King Mongkut's Institute of Technology
Chaokuntaharn Ladkrabang
Bangkok 10520



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี**

**สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช**

**หลักสูตรปฐพีวิทยา**

**เรื่อง**

การสกัดแคดเมียม (Cd) ออกจากดินด้วยเทคนิคการชะล้างดิน

(Soil Flushing) โดยใช้อีดีทีเอ (EDTA) เป็นน้ำยาสกัด

The Effect of Soil Flushing for Cadmium Removal from Contaminated Soil Using Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA) as Flushing Solution

**โดย**

นายอรรถพล ชมภูคำ

**ได้พิจารณาเห็นชอบโดย**

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล ถวิลถึง)

**อาจารย์ที่ปรึกษา**

**หลักสูตรปฐพีวิทยา รับรองแล้ว**

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม)

**ประธานบริหารหลักสูตรปฐพีวิทยา**

วันที่ 23 มี.ค. 2554 เดือน.....พ.ศ. .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง

# การสกัดแคดเมียม (Cd) ออกจากดินด้วยเทคนิคการชะล้างดิน (Soil Flushing) โดยใช้อีดีทีเอ (EDTA) เป็นน้ำยาสกัด

# The Effect of Soil Flushing for Cadmium Removal from Contaminated Soil Using Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA) as Flushing Solution


โดย

นายอรรถพล ชมภูคำ


เสนอ

สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช
หลักสูตรปฐพีวิทยา
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (ปฐพีวิทยา)
ปีการศึกษา 2553


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **ชื่อเรื่อง** | การสกัดแคดเมียม (Cd) ออกจากดินด้วยเทคนิคการชะล้างดิน (Soil Flushing) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด<br>The Effect of Soil Flushing for Cadmium Removal from Contaminated Soil Using Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA) as Flushing Solution |
| **โดย** | นายอรรถพล ชมภูคำ |
| **ชื่อปริญญา** | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ปฐพีวิทยา) |
| **หลักสูตร** | ปฐพีวิทยา |
| **สาขา** | เทคโนโลยีการผลิตพืช |
| **คณะ** | เทคโนโลยีการเกษตร |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.นุกูล ถวิลถึง |

## บทคัดย่อ


การศึกษาการกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาสกัด อีดีทีเอ(EDTA) โดยใช้เทคนิคการชะล้างดิน โดยเก็บดิน 4 จุดจากบริเวณบ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (จุดที่ 1 แปลงนาติดกับลำห้วยแม่ตาว, จุดที่ 2 ปลูกอ้อย, จุดที่ 3 ติดหมู่บ้านพะเด๊ะ และจุดที่ 4 แปลงข้าวโพดห่างจากลำห้วยแม่ตาวประมาณ 100 เมตร) ซึ่งดินแต่ละจุดจะทำการเก็บตัวอย่างดิน ที่ 2 ระดับความลึก คือ 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร โดยเก็บดิน 50 กิโลกรัมในแต่ละระดับความลึก เพื่อศึกษาการสะสมแคดเมียมในดิน หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน และทำการบำบัดแคดเมียมออกจากดินด้วยน้ำยาสกัดอีดีทีเอ (EDTA) ความเข้มข้น 3:1 mol (EDTA:Cd) เพื่อศึกษาการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม โดยใช้วิธีการชะล้างดิน (Soil Flushing)

จากการทดลองพบว่าดินมีเนื้อดินร่วนปนทรายแป้ง, ดินร่วนเหนียว, ดินร่วนปนทราย และดินร่วน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) พบว่ามีความเป็นด่างเล็กน้อยถึงปานกลางและดินบางจุดมีความเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) อยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงสูง ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable base) พบว่า Ca มีค่าสูงถึงสูงมาก Mg มีค่าสูงมาก Na มีค่าต่ำและ K มีค่าสูง และค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าสูงถึงสูงมาก ค่า Pที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ส่วนประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินด้วยน้ำยาสกัดอีดีทีเอ (EDTA) โดยใช้เทคนิคการชะล้างดิน (Soil Flushing) พบว่ามีความแตกต่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันในดินแต่ละจุดทั้งดินบนและดินล่าง โดยพบว่าการใช้น้ำนาอีดีทีเอมีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินในจุดที่ 1 (ดินบริเวณแปลงนา ติดลำห้วยแม่ตาว)ในดินบนสามารถสกัด Cd ออกมาได้ 2.67% หลังจากการชะล้างดิน Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 67.23 mg/kg และในดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 7.13% หลังจากการชะล้างดิน Cd ออกจากดินพบว่า ในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 125.55 mg/kg ตามลำดับ ในจุดที่ 2 (ดินบริเวณแปลงอ้อย)ในดินบนสามารถสกัด Cd ออกมาได้ 2.27% หลังจากการชะล้างดิน Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 24.90 mg/kg และในดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 0.01% หลังจากการชะล้างดิน Cd ออกจากดินพบว่า ในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 3.72 mg/kg ตามลำดับ ในจุดที่ 3 (ดินบริเวณหมู่บ้านพะเด๊ะ) ในดินบนสามารถสกัด Cd ออกมาได้ 0.26% หลังจากการชะล้างดิน Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 37.26 mg/kg และในดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 6.7% หลังจากการบำบัดในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 86.79 mg/kg ตามลำดับ ในจุดที่ 4 (ห่างจากลำห้วยแม่ตาว ประมาณ 100 เมตร , จุดดินอ้างอิง)ในดินบนสามารถสกัด Cd ออกมาได้ 0.02% หลังจากการชะล้างดิน Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 4.56 mg/kg และในดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 0.01% หลังจากการชะล้างดิน ในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 3.73 mg/kg ตามลำดับ และหลังจากการบำบัดดินด้วย EDTA พบว่าในดินทั้ง 4 จุด (pH) อยู่ในระดับเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.52-7.03) ซึ่งลดลงจากก่อนการบำบัดด้วย EDTA เล็กน้อย (pH 6.85-8.40)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำนิยม

ปัญหาพิเศษปริญญาตรีฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.นุกูล ถวิลถึง อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่ได้ให้โอกาสทำปัญหาพิเศษ และให้คำปรึกษารวมทั้งร่วมแก้ไขปัญหาตลอดจนคำแนะนำต่างๆทำให้การทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณนุจรี บุญแปลง คุณนารี พันธุ์จินดาวรรณ ที่กรุณาช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่างๆ และช่วยอำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์ต่างๆในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ นายก้องเกียรติ วรเดช นายณัฐ อ่องวรานนท์ และเพื่อนๆในหลักสูตรทุกๆคน ที่ร่วมทำงานต่างๆเป็นกำลังใจให้และคอยให้ความช่วยเหลือต่างๆจนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในด้านการเรียนและช่วยในการแก้ปัญหาหาต่างๆที่เกิดขึ้น

ในการทำปัญหาพิเศษปริญญาตรีฉบับนี้ หากมีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้าขออภัยในข้อผิดพลาดดังกล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายอรรถพล ชมภูคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| สารบัญ | ก |
| สารบัญตาราง | ข |
| สารบัญภาพ | จ |
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 2 |
| การตรวจเอกสาร | 3 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 22 |
| ผลการทดลอง | 34 |
| สรุปผลการทดลอง | 47 |
| เอกสารอ้างอิง | 49 |
| ภาคผนวก | 51 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ปริมาณแคดเมียมในพืชบริเวณที่มีการปนเปื้อน (ppm) | 12 |
| 2 | ปริมาณแคดเมียมในดินที่มีการปนเปื้อน (ppm) | 14 |
| 3 | ปริมาณแคดเมียมที่ร่างกายได้รับ | 16 |
| 4 | มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม | 17 |
| 5 | มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอื่นนอกเหนือจากการอยู่อาศัย และเกษตรกรรม | 17 |
| 6 | มาตรฐานะดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดิน ของประเทศเนเธอแลนด์ | 17 |
| 7 | จุดที่เก็บและพิกัดของตัวอย่างดิน | 24 |
| 8 | คุณสมบัติทางเคมีของดิน | 35 |
| 9 | คุสมบัติทางกายภาพของดิน | 35 |
| 10 | ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 1 โดยใช้ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.2 N. ในการสกัด | 38 |
| 11 | ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 2 โดยใช้ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.2 N. ในการสกัด | 40 |
| 12 | ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 3 โดยใช้ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.2 N. ในการสกัด | 42 |
| 13 | ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 4 โดยใช้ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.2 N. ในการสกัด | 44 |
| 14 | ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้ง 4 จุด ในการพิจารณาระดับการปนเปื้อน | 45 |
| 15 | ปริมาณแคดเมียมในดินที่เหลือหลังผ่านการบำบัดโดยเทคนิคการชะล้างดิน | 45 |
| 16 | ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) หลังผ่านการบำบัดโดยเทคนิคการชะล้างดิน | 46 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง (ต่อ)


| ตารางผนวกที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 1 ความลึก 0-15 cm. | 52 |
| 2 | แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 1 ความลึก 15-30 cm. | 54 |
| 3 | แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 2 ความลึก 0-15 cm. | 56 |
| 4 | แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 2 ความลึก 15-30 cm. | 58 |
| 5 | แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 3 ความลึก 0-15 cm. | 60 |
| 6 | แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 3 ความลึก 15-30 cm. | 62 |
| 7 | แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 4 ความลึก 0-15 cm. | 64 |
| 8 | แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 4 ความลึก 15-30 cm. | 66 |
| 9 | แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพ ในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 1 ความลึก 0-15 cm. | 68 |
| 10 | แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพ ในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 1 ความลึก 15-30 cm. | 70 |
| 11 | แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพ ในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 2 ความลึก 0-15 cm. | 72 |
| 12 | แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพ ในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 2 ความลึก 15-30 cm. | 74 |
| 13 | แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพ ในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 3 ความลึก 0-15 cm. | 76 |
| 14 | แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพ ในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 3 ความลึก 15-30 cm. | 78 |
| 15 | แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพ ในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 4 ความลึก 0-15 cm. | 80 |
| 16 | แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพ ในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 4 ความลึก 15-30 cm. | 82 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง (ต่อ)


| ตารางผนวกที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 17 | แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย ANOVA เปรียบเทียบกับความแตกต่าง โดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 1 | 84 |
| 18 | แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย ANOVA เปรียบเทียบกับความแตกต่าง โดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 2 | 86 |
| 19 | แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย ANOVA เปรียบเทียบกับความแตกต่าง โดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 3 | 88 |
| 20 | แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย ANOVA เปรียบเทียบกับความแตกต่าง โดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 4 | 90 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | แผนภาพโครงสร้างโมเลกุลของ EDTA | 20 |
| 2 | แผนที่แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน | 24 |
| 3 | แสดงขั้นตอนการสกัดแคดเมียมออกจากดิน โดยวิธีชะล้างดิน (Soil Flusing) | 32 |
| 4 | การจำลองการชะล้างดินในห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำยาสกัด $FeCl_3$ | 33 |
| 5 | ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 โดยใช้ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.2 N. ในการสกัด | 38 |
| 6 | ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 โดยใช้ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.2 N. ในการสกัด | 40 |
| 7 | ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 โดยใช้ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.2 N. ในการสกัด | 42 |
| 8 | ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 4 โดยใช้ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.2 N. ในการสกัด | 44 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำนำ

แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีปริมาณน้อย คือพบบนผิวโลกประมาณ 0.15-0.20 ไมโครกรัมต่อกรัม พบในรูปสินแร่สังกระสีร้อยละ 0.3-0.1 ไมโครกรัมต่อกรัม ในหินแกรนนิตมีแคดเมียมน้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อกรัม ปริมาณแคดเมียมในน้ำและดินตะกอนเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะแหล่งกำเนิด และสภาพแวดล้อม ค่าพีเอชดินเหนียวและดินที่เป็นเบสสูงดูดซับแคดเมียมที่เป็นคาร์บอนที่ละลายน้ำได้มาก ส่วนดินทรายและดินที่เป็นกรดสูงดูดซับแคดเมียมได้น้อย

การนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ได้เพิ่มปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากข้อมูลการใช้แคดเมียมทั่วโลกในปี ค.ศ. 1960 มีปริมาณแคดเมียม 11,000 ตัน เพิ่มเป็น 19,000 ตัน ในปี ค.ศ. 1985 (Alloway,1995) โดยแคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ และสินค้าอุปโภคโดยแคดเมียมจะถูกใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน เช่น อัลลอยด์ของทองแดงและตะกั่ว อุตสาหกรรม เพชร พลอย และเครื่องประดับอัญมณีต่าง ๆ ใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมโลหะนิเกิลเป็น Cd-Ni battery ซึ่งนำมาใช้แบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แฟรชถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด นาฬิกา และวิทยุเล็ก ๆ จากการที่แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภคบริโภคดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้โลหะแคดเมียมเกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศ และในอาหาร ทำให้เราได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางโดยไม่รู้ตัว คนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่อุปโภคบริโภค เข้าไปเป็นหลัก โดยอาจติดปะปนมากับพืชผัก ผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร แคดเมียมอาจจะละลายอยู่ในน้ำที่เราดื่มและได้รับจากอากาศโดยการหายใจจากฝุ่นแคดเมียมที่ฟุ้งกระจายในอากาศ แคดเมียมสามารถอยู่ในร่างกายได้นานเป็นสิบปี มักไปสะสมที่ตับ และไต อาการพิษที่เกิดจากการบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนแคดเมียมพบไม่มาก การป้องกันทำได้หลายด้าน เช่น กำหนดปริมาณแคดเมียมในของเสียจากโรงงาน กำหนดปริมาณในภาชนะและวัสดุที่ใช้สัมผัสหรือห่อ การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายเราได้อีกด้วย ซึ่งเป็นผลเสียต่อร่ายกายทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง โดยแคดเมียมจะเข้าไปทำลายระบบกายใจ เป็นพิษต่อท่อไต เป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจและระบบการสร้างเม็ดโลหิต พิษที่กระดูกที่ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรค อิไต อิไต โรคชนิดนี้เป็นโรคกระดูกผุ คือกระดูกจะพรุน กระดูกโก่ง งอโค้งได้ จะทำให้กระดูกเสียรูปทรง แตกร้าวและหักได้ เนื่องจากร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง

การบำบัดที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว รวมถึงแคดเมียม มีอยู่หลายวิธี และวิธีหนึ่งเป็นที่นิยมคือ วิธีกาชะล้างดิน โดยใช้น้ำยาสกัด EDTA นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์พยายามใช้น้ำยาสกัดอื่น ๆ เช่น $CaCl_2$, $FeCl_3$ และการทดลองในครั้งนี้ได้ใช้วิธีการชะล้างดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียมในบริเวณบ้านพะเด๊ะ ต.พระธาตุผาแดง อ.แม่สอด จ.ตาก โดยวิธีการชะล้างดิน (Soil Flushing) ด้วยน้ำยาสกัด EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การตรวจเอกสาร

## 1. สภาพบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา

### ข้อมูลทั่วไป

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

ทิศเหนือติดกับตำบลแม่ปะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ทิศใต้ติดกับตำบลแม่กุ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ทิศตะวันออกติดกับตำบลพระวอ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ทิศตะวันตกติดกบแม่ตาว และตำบลแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

จำนวนประชากรของตำบลและจำนวนประชากรในเขต อบต. 5,499 คน และจำนวนบ้านเรือน 1,837 หลังคาเรือน อาชีพของตำบล อาชีพส่วนใหญ่ของชาวบ้านในตำบลจะมีอาชีพทำนา อาชีพเสริมคือรับจ้างทั่วไป

## 2. ธรณีวิทยาของตำบลพระธาตุผาแดง

ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ตำบลพระธาตุผาแดงจะเป็นแนวเดียวกันตั้งแต่ภาคเหนือตอนบนได้แก่ จังหวัดแม่ฮ่องสอนทอดยาวมายังอำเภอแม่สอดจังหวัดตาก จนถึงทิศตะวันตกของประเทศไทย คืออำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งรวมเรียกว่า “ธรณีวิทยาแนวแม่ฮ่องสอน-แม่สอด-ทองผาภูมิ” โดยชั้นหินที่สำคัญในแนวนี้ประกอบด้วยหินยุคไซลูเลียน-ดีโวเนียน-คาร์บอนิคเฟอรัส ส่วนใหญ่ได้แก่ หินเชิร์ต หินดินดาน หินทราย สลับชั้นกับชั้นหินปูน โดยมีหินทรายแดงและหินกรวดมนคาร์บอนิคเฟอรัสวางตัวอยู่บนแนวเทือกเขาต่อลงมาทางใต้ในเขตอำเภอทองผาภูมิ พบหินส่วนใหญ่เป็นหินตะกอด หินอัคนีและหินแปรเพียงเล็กน้อย ซึ่งเชื่อว่าเป็นหินยุคแคมเบรียน พบเป็นแนวยาวอยู่สองบริเวณคือ บริเวณน้ำตกคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร และแนวระหว่างลำน้ำแควใหญ่กับแควน้อย ช่วงระหว่างอำเภอศรีสวัสดิ์ กับอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี โดยต่อเนื่องลงมาตามแนวลำน้ำแควใหญ่ถึงบริเวณด้านใต้ของอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นหินปูนและหินตะกอนมหายุคพาลีโอโซอิกตอนล่าง ยุคออร์โดวินเชียน-ดีโวเนียน ที่ถูกแปรสภาพขั้นต่ำไม่รุนแรงมากนัก ส่วนหินยุคดีโวเนียน-คาร์บอนิคฟอสฟอรัส พบอยู่บริเวณด้านตะวันตกของแม่น้ำแควน้อยต่อเนื่องลงไปทางใต้ ลักษณะประการหนึ่งในพื้นที่นี้คือหินปูนยุคเพอร์เมียน หินทรายและหินทรายแป้งสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แดงที่เกิดจากการสะสมตัวในทะเลมหายุคมีโซโซอิกแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างขึ้นไปถึงเขตอำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก (ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรธรณี)

**2.1 สายแร่ของตำบลพระธาตุผาแดง**

เนื่องจากแคดเมียมมีคุณสมบัติเหมือนแร่สังกะสีจึงทำให้พบธาตุทั้งสองชนิดอยู่ด้วยด้วยกันในธรรมชาติซึ่งสังกะสีจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบแต่แคดเมียมเป็นสารพิษจึงไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ สำหรับประเทศไทยพบแร่สังกะสีหลายแห่งแต่ส่วนใหญ่จะพบว่ามีปริมาณเพียงเล็กน้อยที่พบ พบเป็นแหล่งใหญ่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจซึ่งได้ดำเนินโครงการทำเหมือง และมีการผลิตในปัจจุบันได้แก่ แหล่งสังกะสีผาแดง อ.แม่สอด จ.ตาก ส่วนบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่สังกะสีที่น่าสนใจได้แก่ บริเวณด้านตะวันตกของประเทศไทย ตั้งแต่จังหวัดแม่ฮ่องสอนลงมาจนถึงจังหวัดเพชรบุรี โดยมีบริเวณที่สำคัญๆ เช่น อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี (ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรธรณี)

**2.2 การปนเปื้อนในดินบริเวณที่ทำการศึกษา**

บริเวณที่ได้ทำการศึกษาคือ บ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นอำเภอหนึ่งทางตอนกลางของจังหวัดตาก ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการปนเปื้อนจะอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาว ซึ่งการปนเปื้อนนี้เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ คือมีการทำเหมืองสังกะสีบริเวณยอดเขาซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแหล่งที่สำคัญที่ใช้ในการอุปโภค บริโภค และการเกษตรกรรมในพื้นที่ดังกล่าว เนื่องจากแคดเมียมมีสมบัติใกล้เคียงกับสังกะสีทุกประการซึ่งมักอยู่รวมกับกำมะถันเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds) มีสีเหลืองและมักปนอยู่กับแร่สังกะสีซัลไฟด์เมื่อมีการปิดหน้าดินจากการทำเหมืองจึงทำให้แคดเมียมปะปนออกมาจากการชะล้างของน้ำฝนและไหลลงสู่ลำห้วยแม่ตาวในรูปของดินตะกอนซึ่งผลการศึกษาขององค์กรนานาชาติ IWMI พบว่าในพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณแร่แคดเมียมในดินเกินมาตรฐานสูงมากที่ส่งผลต่อสุขภาพประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวจากการตรวจสอบดินในนาจำนวน 154 แปลง พบแคดเมียมอยู่ในช่วง 3.4-284 มิลลิกรัมแคดเมียม/กิโลกรัมของดิน ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของยุโรปที่กำหนดไว้ 3 มิลลิกรัมแคดเมียม/กิโลกรัมของดิน ซึ่งค่าแคดเมียมที่ตรวจพบจึงเกินกว่ามาตรฐานถึง 1.13-94 เท่า โดยธรรมชาติแคดเมียมที่อยู่ในตะกอนดินหากมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7.7 จะอยู่ในรูป $Cd_3(PO_4)^2$ และจะอยู่ในรูป $CdCO_3$ เมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 7.7 (Sadiq, 1992) หลังจากนั้นก็จะปะปนไปกับกระแสน้ำในลำห้วยจนถึงบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมที่เกิดปัญหาเมื่อเกษตรกรทำการปลูกข้าวแคดเมียมที่สะสมอยู่ในดินก็จะถูกดูดขึ้นไปสะสมอยู่ในส่วนต่างๆของข้าวในรูปแคดเมียมอิออน ($Cd^{2+}$) ซึ่งจากการตรวจพืชผลทางการเกษตรพบว่ามีแคดเมียมในเม็ดข้าวถึง 0.1-44 มิลลิกรัมแคดเมียม/กิโลกรัมของข้าว สูงกว่าค่ามาตรฐานของไทยที่กำหนดไว้ที่ 0.043 มิลลิกรัมแคดเมียม/กิโลกรัมของข้าว รวมถึงกระเทียมสูงเกินมาตรฐานถึง 126 เท่า ในถั่วเหลืองเกินมาตรฐาน 16 เท่า ซึ่งถือว่าสูงมากและเป็นอันตรายกับประชาชนในพื้นที่ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3. การชะล้างดิน (Soil Flushing)**

เป็นวิธีการบำบัดฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่สำคัญ โดยใช้หลักการการชะล้างด้วยสารละลายที่เหมาะสม เช่น น้ำ หรือ Surfactants โดยอาศัยคุณสมบัติในการลาย (solubility) ของมลสารที่ต้องการกำจัด โดยสารปนเปื้อนที่ถูกชะล้างออกมานี้จะถูกเก็บรวบรวมเพื่อนำไปบำบัดอีกครั้ง ลักษณะการเลือกตัวชะล้าง อาทิเช่น

1) สารละลายกรด ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะ และสารอินทรีย์บางชนิด แต่ไม่นิยมใช้เนื่องจากจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน

2) สารละลายเบส ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะ สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก

3) น้ำ ช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของสารที่ละลายน้ำได้ (water soluble) และพื้นที่สามารถพาไปได้ (water mobile costituents) โดยพิจารณาจากค่าการละลายของสารปนเปื้อนนั้น

4) Surfactants ใช้สำหรับฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์เช่น ยาฆ่าแมลง

**4. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับแคดเมียม**

**4.1 ลักษณะโดยทั่วไป**

แคดเมียมเป็นธาตุในกลุ่มโลหะทรานซิชัน จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับสังกะสีในตารางธาตุ สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Cd ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

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

แคดเมียมเป็นโลหะอ่อนสีเงิน สามารถดัดและตีแผ่ได้ ละลายได้ในกรดทุกชนิด และละลายได้ดีในสารละลายเข้มข้นแอมโมเนียมไนเตรท ($NH_4NO_3$) แคดเมียมไอออนไม่มีสีและเลขออกซิเดชันเท่ากับ +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 2-10 ppm. ซึ่งปริมาณแคดเมียมนี้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของดินสลายมาจากหินชนิดใด 0.1-1 ppm. และดินที่สลายจากหินตะกอนมีแคดเมียมประมาณ 0.3-11 ppm. (ฉัตรสินี, 2545)

**4.2 แหล่งกำเนิด**

แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในธรรมชาติน้อย และหาค่อนข้างยากในสิ่งแวดล้อม เมื่อเทียบกับโลหะหนักอื่นๆ มักจะอยู่ในรูปของสารประกอบซัลไฟด์เป็นแคดเมียมซัลไฟด์ในรูปของแร่ greenockite (Cds) หรืออีกลักษณะหนึ่งคือปะปนในปริมาณน้อยอยู่กับแร่สังกะสีทุกชนิด ดังนั้นโลหะแคดเมียมส่วนใหญ่จึงเป็นผลิตผลพลอยได้จากการถลุงแร่สังกะสี แร่โลหะอื่นๆประมาณ 0.3-1.0 % ในเปลือกโลกมีแคดเมียมโดยเฉลี่ย 0.15-0.20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในหินแกรนิตและหินแปรมีแคดเมียมน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แต่ในหินชั้นอาจมีแคดเมียมสูงถึง 11 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หรือสูงกว่านี้ โดยมีมากในหินดินดาน (shale) ที่มีปริมาณอินทรีย์สูง ในดินตะกอนของทะเลสาบในก้อนแมงกานีสออกไซด์ในมหาสมุทรและฟอสฟอไรต์ (phosphorite) ในดินที่ยังไม่ถูกปนเปื้อนด้วยแคดเมียมจะมีปริมาณเฉลี่ยน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แต่ปริมาณแคดเมียมในดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะและการกำหนดของดิน ดินที่กำเนิดจากหินชั้นจะมีปริมาณแคดเมียมได้น้อยกว่า ซึ่งมีรายงานว่าเคยพบปริมาณแคดเมียมสูงกว่า 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทั้งในน้ำธรรมชาติและน้ำประปา แคดเมียมในสิ่งแวดล้อมดังกล่าวจะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตในที่สุด แต่ในแคดเมียมที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติยังมีปริมาณไม่สูงถึงขั้นเป็นพิษเป็นภัยต่อสิ่งมีชีวิต (ตีรณรรภ, 2549)

**4.3 การเกิดปฏิกิริยาในดินของแคดเมียม**

แคดเมียมในหินอัคนีและหินตะกอนจะมีปริมาณไม่เกิน 0.3 ppm และจะพบอยู่ร่วมกับสังกะสีเสมอแต่ในดินเป็นกรดแคดเมียมมีสภาพเคลื่อนที่ดีกว่าสังกะสี และแคดเมียมมีรูปสารประกอบได้เช่นเดียวกับกับกลุ่มแคตไอออน $Zn^{2+}$, $Co^{2+}$, $Ni^{2+}$, $Fe^{2+}$, $Mg^{2+}$

ในการสลายตัวของหินและแร่ แคดเมียมในดินอยู่ในสภาพละลายได้ง่ายโดยจะอยู่ในรูป $Cd^{2+}$ เป็นส่วนใหญ่ โดยอาจอยู่ในรูปไอออนเชิงซ้อน (complex ion) และสารประกอบได้ดังนี้

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

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

สารประกอบ : $CdO$, $CdCO_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยสำคัญที่สุดในการควบคุมการเคลื่อนที่ได้ของแคดเมียมในดินคือ pH และศักย์รีดอกซ์ ซึ่งดินมีศักย์รีดอกซ์สูง แคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบ เช่น CdO หรือ $CdO_3$ หรืออาจอยู่รวมกับฟอสเฟตได้เช่นเดียวกัน

แคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่า pH ระหว่าง 4.5-5.5 แต่ในดินที่เป็นด่าง แคดเมียมไม่ค่อยเคลื่อนที่ ซึ่งในสภาพดินเป็นกรดสภาพละลายได้ของแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและอะลูมินัมและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

การที่แคดเมียมในตะกอนน้ำโสโครกถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่าย เป็นเพราะไอออนบวกแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cation) สามารถไล่ที่แคดเมียมก่อนที่จะถูกดูดซับในตะกอนได้มากกว่าประเภทของตะกอนน้ำโสโครกที่สามารถดูดซับแคดเมียมจากมากไปน้อยดังนี้ Ca-sludge > untreated sludge > Fe-sludge, Al-sludge ขณะเดียวกันเมื่ออยู่ในดิน แคดเมียมโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพที่แลกเปลี่ยนได้ ขณะที่ทองแดงจะถูกตรึงในรูปสารประกอบอินทรีย์ ทำให้ศักยภาพในการเคลื่อนที่และการแพร่กระจายของแคดเมียมสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับจุลธาตุอื่นซึ่งเรียงจากมากไปน้อยดังนี้ Cd > Zn > Cu, Ni

แคดเมียมเมื่ออยู่ในกากตะกอนที่เป็นด่างเช่น Ca-sludge มีแนวโน้มที่จะอยู่ในลักษณะคีเลตหรือรวมกับสารอินทรีย์ที่ไม่ละลาย (insoluble organic bound) เป็นส่วนใหญ่และปริมาณในส่วนนี้จะไม่ถูกกระทบโดยการเปลี่ยนแปลงสภาพออกซิเดชัน-รีดักชันแต่อย่างใด เมื่อสภาพความเป็นด่างลดลงเช่น จนถึงสภาพ pH 5.0 และอากาศถ่ายเทดี แคดเมียมในดินจะเปลี่ยนแปลงศักย์รีดอกซ์และ pH ในดินมีผลต่อการละลายและการแพร่กระจายของแคดเมียมเป็นอย่างมาก (ศุภมาศ, 2539)

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

แคดเมียมเป็นแร่ที่พบกระจายกับแร่ชนิดอื่นไม่ได้เป็นแร่ที่แยกเป็นเอกเทศ และมักพบปะปนอยู่กับแร่สังกะสีในปริมาณ 0.1-5% ซึ่งปริมาณแคดเมียมจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสังกะสีในแร่ดังกล่าวคือ ถ้าในแร่มีปริมาณสังกะสีสูงปริมาณแคดเมียมจะสูงตามไปด้วยซึ่งอัตราส่วนระหว่างแคดเมียมและสังกะสี ยังพบอยู่ฝนแร่ตะกั่วและทองแดง แต่พบในปริมาณที่น้อยกว่า สำหรับแร่สังกะสีในประเทศไทยที่ขุดได้ในจังหวัดตากมีแคดเมียมประกอบอยู่ 0.23-0.38%

ในการผลิตแคดเมียมนั้นได้จากการผลิตที่เหลือจากการถลุงสังกะสี ตะกั่ว หรือทองแดง ซึ่งผลิตผลที่เหลือที่สำคัญที่นำมาใช้ในการผลิตแคดเมียมคือ ก้อนของสังกะสีแคดเมียม จากการถลุงสังกะสี ซึ่งมีแคดเมียม 2.5-10% หรือผลิตผลที่เหลือจากการกลั่น ของการผลิตตะกั่วและสังกะสีในรูปของฝุ่นตะกั่วที่มีแคดเมียมประมาณ 2-5% และผงที่มีแคดเมียม 0.7-1.07% แต่ส่วนใหญ่ผลิตผลที่เหลือที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแคดเมียมคือ ก้อนของสังกะสีแคดเมียม

กระบวนการในการผลิตแคดเมียมจากผลิตผลที่เหลือ หรือประเภทก้อนของสังกะสีแคดเมียม ส่วนใหญ่จะใช้วิธี Hydrometallurgical ซึ่งมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สำหรับการสกัดเอาแคดเมียมออกจากผลิตภัณฑ์ต่างๆที่มีแคดเมียมประกอบอยู่ มีขั้นตอนในการสกัดดังนี้คือ

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

5)แคดเมียมซัลเฟต จะถูกตกตะกอนจากสารละลายโดยการใช้ไฟฟ้าที่ 40 °C

6)นำเอาแคดเมียมที่เกาะติดอยู่บนแผงแคโทดออกทำให้แห้งและนำไปหลอมอีกครั้งที่อุณหภูมิ 330-335 °C

7) แคดเมียมที่ได้จะถูกหล่อให้เป็นก้อนหรือแท่ง

ส่วนกระบวนการสกัดแคดเมียมออกจากฝุ่นตะกั่วทำได้โดยการนำไปละลายด้วยกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิ 400-500 °C แล้วตามด้วยวิธี Hydrometallurgical จากการที่ในก้อนมีปริมาณแคดเมียมแตกต่างกันไป ดังนั้นในกระบวนการบดให้ละเอียดและแขวนในน้ำจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มหรือดัดแปลงวิธีการให้แตกต่างกันไป ถ้าปริมาณแคดเมียมในก้อนมีมากกว่า 6% ใช้ในการบดละเอียดและแขวนลอยในน้ำอย่างเดียว ถ้าปริมาณแคดเมียมในก้อนมี 3-6% ใช้ในการบดละเอียดและแขวนลอยน้ำ ซึ่งสามารถละลายทั้งแคดเมียมและทองแดง ต่อมาตะกอนเอาแคดเมียมออกจากสารละลายทองแดง ถ้าปริมาณแคดเมียมในก้อนมีน้อยกว่า 3% โดยการบดละเอียดและแขวนลอยน้ำ ทั้ง 2 ครั้งกล่าวคือ ครั้งแรกโดยการ Carburization Cadmium จากสารละลายที่มีแร่แขวนลอยอยู่แล้วตามต้องการ กระบวนการชะล้างทองแดงแคดเมียม ออกมาโดยใช้เครื่องเซนติฟิวส์ซึ่งแคดเมียมที่ได้จะถูกนำมาผ่านขบวนการอื่นๆอีกเพื่อให้ได้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูง

ในการสกัดแคดเมียมออกจากผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป ประเภทตะกั่ว หรือทองแดงใช้วิธี Amalgam โดยการ Carburization หรือ Zinc Amalgam แล้วตามด้วยปฏิกิริยา Anodic Oxidation (มนตรี, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**6. การใช้ประโยชน์ของแคดเมียม**

แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ และสินค้าอุปโภคดังนี้

1) ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสมอัลลอยด์ (alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและความทนทานต่อการกัดกร่อน เช่น

1.1 อัลลอยด์ของทองแดงที่มีแคดเมียม 1%(cadmium bronze) ใช้ในการผลิตเส้นลวดโทรเลขและโทรศัพท์

1.2 อัลลอยด์ของทองแดงและตะกั่ว ซึ่งมีแคดเมียมผสมอยู่ 20% ใช้ในการผลิตแบบพิมพ์(printing plates)

1.3 อัลลอยด์ของทองแดง แคดเมียม และเซอร์โคเนียม ใช้ในอุปกรณ์การสื่อสารต่างๆที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงๆ ทั้งนี้เพราะโลหะผสมประเภทนี้จะมีความแข็งและมีแรงดึงได้สูงกว่าโลหะผสมของทองแดงกับแคดเมียม

1.4แคดเมียมใช้ผสมกับโลหะอื่นในอุตสาหกรรมเพชรพลอยและเครื่องประดับอัญมณีต่างๆ โดยอาจผสมกับโลหะอื่นชนิดเดียว (ผสมทอง) ผสมกับโลหะอื่น 2 ชนิด(ทอง 75% เงิน 16.6%) ผสมกับโลหะอื่น 3 ชนิด(ทองแดง เงิน และทอง)

1.5 ใช้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูงๆในการผสมกับโลหะอื่น เพื่อให้มีคุณสมบัติกึ่งตัวนำ(semiconductor) เช่น cadmium arsenide , cadmium antimonide และ cadmium telluride

2) ใช้ในการชุบโลหะ โดยใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วิทยุ เป็นต้น

3) ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรม สารประกอบแคดเมียมซัลไฟด์และแคดเมียมซัลโฟซีลไนต์ใช้ในการให้สีในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สีอินาเมล เซรามิก ยาง แก้ว ผ้า เส้นใย หนัง หมึกพิมพ์ และพลาสติก

4) ใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิลเป็น Cd – Ni battery ซึ่งนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แฟลชถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด นาฬิกาและวิทยุเล็กๆเป็นต้น

5) ใช้ในกิจการอื่นๆ เช่น

5.1 ใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อรา ที่ใช้ในกิจการเกษตร

5.2 ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นตัวควบคุมอัตราการแตกตัวของนิวเคลียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์

5.4 ใช้ในการถ่ายรูป เช่น Cd – Br, Cd – I

5.5 สารประกอบแคดเมียมบางชนิดใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของพลาสติก เช่น Cadmium stearate

5.6 ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องทนความร้อน เช่น ทำหม้อน้ำรถยนต์ อุปกรณ์ทำความเย็นต่างๆที่ต้องระบายความร้อนมากๆ

**7. ความเป็นพิษของแคดเมียม**

จากการที่แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภคดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้โลหะแคดเมียมเกิดการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศและในอาหาร ทำให้เราได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางโดยไม่รู้ตัว คนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจติดปะปนมากับพืชผัก ผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร แคดเมียมอาจละลายอยู่ในน้ำที่เราดื่มและได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นแคดเมียมฟุ้งกระจายอยู่ โดยเฉพาะในแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ หรือบริเวณที่เป็นเหมืองทำแร่ สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง ที่มักมีแคดเมียมปนอยู่ด้วย การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบและการอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในอากาศนานๆจะทำให้แคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายเราได้อีกด้วย สำหรับผู้ที่สูบบุหรี่จัดจะทำให้ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกายครึ่งหนึ่งจะไปสะสมอยู่ที่ตับและไต ทำให้เกิดพิษสะสมได้ในคน การขับแคดเมียมที่ร่างกายดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่างกายเป็นไปค่อนข้างช้ามาก เพราะวงจรครึ่งชีวิตของแคดเมียมในคนค่อนข้างยาว 16 -33 ปี โดยความเป็นพิษของแคดเมียม แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

1) ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

1.1 ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกิน ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อนหรือบรรจุในภาชนะที่เคลือบด้วยแคดเมียม อาการที่ปรากฏเริ่มแรกคือ รู้สึกคลื่นเหียนอย่างรุนแรง อาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากอาจเกิดอาการช็อคเนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมาก ระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงตายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ การสูดหายใจเอาไอของแคดเมียมเข้าไปทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลม ปอด จมูก ลำคอ และยังทำให้เกิดอาการไอ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก

2) ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง ความเป็นพิษจากแคดเมียมที่เกิดกับคนส่วนใหญ่มักเป็นแบบชนิดเรื้อรัง ซึ่งเกิดจากการที่ร่างกายได้รับแคดเมียมเข้าไปเป็นเวลานานติดต่อกัน ได้แก่

2.1 ความเป็นพิษต่อปอดในคนที่หายใจเอาฝุ่นหรือไอ (fume)ของแคดเมียมเข้าไปติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการบวมหรือพองของเนื้อเยื่อปอด ประสิทธิภาพในการระบายลมของปอดจะลดลง ทำให้อากาศอยู่ภายในปอดนานกว่าปกติ มีอาการหายใจขัดหรือหายใจไม่ออก นอกจากนี้ยังพบว่า แคดเมียมทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองและมีพังผืดในปอดจับในทางเดินหายใจส่วนล่าง เนื่องจากแคดเมียมจะเป็นตัวไปขัดขวางการสร้าง antitrypsin ซึ่งเป็นตัวควบคุม trypsin ในร่างกายคน ซึ่งสารtrypsin นี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองได้

2.2 ความเป็นพิษต่อไต ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายนานติดต่อกันจะพบความเป็นพิษที่ไตก่อนที่ปอด จะเกิดแผลที่ไต พิษต่อไตจะปรากฏโดยผู้ป่วยมีอาการของโปรตีนยูเรีย คือ ไตจะมีการขับปัสสาวะที่มีโปรตีนมากกว่าปกติ ซึ่งโปรตีนที่ขับออกมาส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น microglobin lysozyme ribonuclease retinol binding protein และ immunoglobin chains โดยชนิดของโปรตีนที่ถูกขับออกมาจะเป็นตัวบอกให้รู้ว่าไตส่วนใดถูกทำลาย เช่น ถ้าโปรตีนขนาดใหญ่ถูกขับออกมา แสดงว่า โกลเมอรูรัส (glumerulus) ถูกทำลาย แต่ถ้าเป็นโปรตีนขนาดเล็กถูกขับออกมา แสดงว่า ส่วน ของทิบูลถูกทำลาย นอกจากโปรตีนแล้วยังอาจมีสารอื่นๆถูกขับออกมากผิดปกติด้วย เช่น กรดอะมิโน ทำให้เกิดอาการ aminoaciduria แคลเซียม ทำให้เกิดอาการ hypercalciumuria และ กลูโคส ทำให้เกิดอาการ glucosuria เป็นต้น

2.3 ความเป็นพิษที่กระดูก ที่ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรค อิไต อิไต โรคชนิดนี้เป็นโรคกระดูกผุ คือ กระดูกจะพรุน กระดูกโก่ง งอโค้งได้ จะทำให้กระดูกเสียรูปทรง แตกร้าว และหักได้ เนื่องจากร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง

2.4 ความเป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจและระบบการสร้างเม็ดโลหิต จะทำให้เกิดความดันโลหิตสูง เป็นสาเหตุให้เกิดโรคหัวใจ หัวใจเต้นผิดปกติ ในกลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรค อิไต อิไต และกลุ่มคนงานที่ต้องสัมผัสกับแคดเมียมจะพบอาการของโรคโลหิตจางด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ความเป็นพิษต่อตับ มีรายงานค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับความเป็นพิษต่อตับในคน แต่จากการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่า แคดเมียมในปริมาณน้อย (ในน้ำดื่ม 1 ppm) มีผลทำให้การทำงานของเอ็นไซม์ในตับเปลี่ยนไป

2.6 จากการทดลองในสัตว์ พบว่า แคดเมียมยังเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทำให้เกิดมะเร็งของเนื้อเยื่อที่อยู่ลึก (sarcomar) เช่น กล้ามเนื้อกระดูกในหนูทดลอง

จากความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียมที่กล่าวมา ยังมีโลหะหนักอื่นอีกหลายชนิดซึ่งไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น ตะกั่ว สารหนู ปรอท โครเมียม เป็นต้น เนื่องจากโลหะหนักต่างๆเหล่านี้ยังมีความจำเป็นต่อชีวิตประจำวันอยู่ การใช้โลหะหนักเหล่านี้จะทำให้โลหะหนักมีโอกาสที่จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมและปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ การศึกษาพิษวิทยาของโลหะหนักจึงมีความสำคัญเพื่อหาแนวทางป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป

ตารางที่ 1 ปริมาณแคดเมียมในพืชบริเวณที่มีการปนเปื้อน (ppm)

| แหล่งปนเปื้อน | พืช | ส่วนของพืช | พิสัย | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| เหมืองแร่เก่า | หญ้า | ใบ | 1.1-2.0 | สหราชอาณาจักร |
| | ถั่วโคลเวอร์ | เหนือดิน | 4.9 | สหราชอาณาจักร |
| อุตสาหกรรม | หญ้า | ใบ | 8.2 | สหราชอาณาจักร |
| โลหะ | ผักกาดหอม | ใบ | 45 | 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 | อเมริกา |
| | ถั่วเหลือง | เมล็ด | 2.3 | อเมริกา |
| | ข้าวสาลี | เมล็ด | 2.2-14.2 | รัสเซีย |
| | | ใบ | 19-47 | รัสเซีย |
| | | ราก | 397-898 | รัสเซีย |

ที่มา : ศุภมาศ (2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**8. สถานการณ์การปนเปื้อนแคดเมียมที่แม่ตาว**

ราวปี พ.ศ. 2490 กรมทรัพยากรธรณี หรือกรมราชโลหะกิจสมัยนั้น สำรวจพบ แหล่งแร่สังกะสี ที่ดอยผาแดง ตำบลแม่ตาวอำเภอแม่สอด ปี พ.ศ. 2512-2518 บริษัท ไทยซิง จำกัด ได้สำรวจและได้ประทานบัตรการทำแร่สังกะสี นำสินแร่ออกมาได้ประมาณ 150,000 ตัน ปี และปิดตัวลงในเวลาต่อมา แหล่งแร่แห่งนี้จึงถูกปล่อยทิ้งไว้อยู่ 6 ปี ต่อมาในปี 2526 บริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ได้ประทานบัตรการทำเหมืองแร่ต่อ และขอขยายพื้นที่สัมปทานออกไปอีกขณะเดียวกัน ในปี 2536 บริษัท ตากไมนิ่ง ก็ได้รับสัมปทาน ให้เข้ามาทำเหมืองอีกแห่ง ในพื้นที่ไม่ไกลกันนัก นักวิชาการสายธรณีวิทยา ยืนยันเหมือนกันว่า แคดเมียมสามารถเกิดขึ้นได้ในธรรมชาติ ที่มีการผุพัง การผุกร่อนของหิน และดิน รวมทั้งการถูกน้ำพัดพาเอามาสะสมในตะกอนดินอย่างรวดเร็วตะกอนดิน เมื่อมีตกตะกอน กลายเป็นดิน ก็จะมีการสะสมของแคดเมียมในดิน รอวันที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่พืช เมื่อมีปัจจัยที่เหมาะสมเนื่องจากพื้นที่ทั้งหมดในบริเวณนี้ถือเป็นแหล่งแร่สังกะสี ซึ่งโดยธรรมชาติแร่สังกะสีเกิดขึ้นในที่ใดก็ตาม ก็จะมีแคดเมียมเกิดเป็นเพื่อนแร่ด้วยเสมอ แต่จะมีปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับแร่สังกะสี และพื้นที่ใดที่มีแร่สังกะสีในปริมาณสูง ย่อมหมายถึงมีปริมาณแคดเมียมสูงตามไปด้วย ขณะเดียวกัน แคดเมียมที่มีอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้ว จะไม่ออกมารบกวนใคร หากสภาพธรรมชาติในพื้นที่ดังกล่าวมีความสมดุล คือ พื้นที่ไม่ถูกรบกวน ด้วยวิธีการใดๆ โดยเฉพาะการทำลายหน้าดิน แต่หากเมื่อใดที่พื้นที่ถูกรบกวนด้วยกิจกรรมการทำลายหน้าดิน เช่น การทำเหมือง หรือ การเปิดหน้าดินให้โล่ง ไม่มีพืชปกคลุมก็จะเกิดการกัดเซาะขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นเหตุให้เกิดการกระจายตัวของแคดเมียมมากขึ้นจนเกิดเป็นมลพิษ ในที่สุดนักวิชาการธรณีวิทยาหลายคนเชื่อว่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม และผลิตผลการเกษตรของชาวบ้านน่าจะมีสาเหตุมาจากการเอาสังกะสีออกมาจากพื้นดินเป็นหลัก เพราะยิ่งนำออกมาเท่าไรก็จะยิ่งทำให้แคดเมียมออกมาสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้นเท่านั้น ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มี 6หมู่บ้าน คือ หมู่ที่ 1 บ้านค้างภิบาล หมู่ที่ 2 บ้านหัวฝาย หมู่ที่ 3 บ้านแม่ตาวใหม่ 102 หมู่ที่ 4 บ้านพะเด๊ะ หมู่ที่ 5 บ้านถ้ำเสือ และหมู่ที่ 6 บ้านขุนห้วยแม่สอด ในหมู่บ้านพะเด๊ะ ที่ชาวบ้านต้องเจอสภาพการสะสมของสารแคดเมียม ในพื้นที่ทำกิน และในผลิตผลการเกษตรของตัวเองมากที่สุดนั้น มีประชากรประมาณ 135ครัวเรือน หรือราวประชากรส่วนใหญ่เป็นชาวกะเหรี่ยงสะกอ หรือปกาเก๊อญอ ประกอบอาชีพหลักโดยการทำนา ปลูกพืชในที่ลุ่ม และปลูกพืชบนดอยหรือปลูกข้าวไร่ มีการปลูกข้าวปีละ 1 ครั้ง หลังจากเก็บข้าวแล้ว จะปลูกถั่วเหลืองกระเทียม และพืชอื่นๆ เช่นฟัก มะเขือ พริก ข้าวที่ได้จากการทำนา เป็นข้าวหอมมะลิ ที่มีชื่อเสียง เคยได้รับรางวัลระดับประเทศ ว่าเป็นข้าวหอมมะลิที่ดีที่สุดในประเทศ ส่วนข้าวที่ชาวบ้านปลูกไว้กินกันเองในครัวเรือน คือ ข้าวสุพรรณ นอกจากนี้ก็ยังปลูกพืชไร่ และพืชผักสวนครัวบางชนิดไว้กินเองอีกด้วย

กรมควบคุมมลพิษ ให้ข้อสันนิษฐานว่า การปนเปื้อนของสารแคดเมียมเกิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เนื่องจากในบริเวณที่ไม่มีกิจกรรมการรบกวนจากมนุษย์ พบสารแคดเมียมน้อย เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณบ้านถ้ำเสือ ซึ่งอยู่ต้นน้ำและอยู่เลยเหมืองแร่ขึ้นไป แต่หมู่บ้านตั้งแต่เหมืองแร่ลงมาคือ พะเด๊ะ แม่ตาวใหม่ จนถึงแม่น้ำเมยกลับพบว่ามีสารแคดเมียมสูงและลดหลั่นลงมาตามลำดับ

กรมทรัพยากรธรณี กลับบอกข้อสันนิษฐานว่า การปนเปื้อนของสารแคดเมียมเกิดขึ้นจากกระบวนการธรรมชาติ เพราะตรวจพบว่าบริเวณห้วยแม่กุ ซึ่งไม่ได้ไหลผ่านเขตเหมืองแร่ แต่พบตะกอนแร่มีสารแคดเมียมในปริมาณที่สูงด้วยเช่นกัน จึงเชื่อว่าการปนเปื้อนของสารแคดเมียมมาจากการผุพัง และชะล้างพลังทลายของดินและแหล่งแร่ที่มีอยู่ในพื้นที่ โดยกระบวนการทางธรรมชาติเช่นน้ำฝนชะล้างลงมาเป็นต้น

ตารางที่ 2 ปริมาณแคดเมียมในดินที่มีการปนเปื้อน (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

**9. โรคอิไต-อิไต (Itai-Itai disease)**

ในอดีตได้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักคือแคดเมียมในนาข้าวจากแม่น้ำจินทสึ ซึ่งต้นน้ำขึ้นไป มีการปล่อยน้ำเสียจากโรงถลุงแร่ของบริษัทมิตซุย ที่ผลิตแร่ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ซึ่งแคดเมียมจะเป็นของเหลือทิ้งออกมา ทั้งนี้เพราะในธรรมชาติ มักจะพบแคดเมียมร่วมกับสังกะสีเสมอในอัตราส่วน Zn/Cd ประมาณ 900/1 ในข้าวที่บริโภคนั้นมีแคดเมียมประมาณ 1 ppm ในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงหลังสงครามโลกคือในปี พ.ศ.2489 หมอชื่อ Dr.Noboru Hagino ได้พบโรคนี้เป็นครั้งแรกในเมืองโทยามะ โดยเริ่มเป็นที่ไตล้มเหลว ปวดกระดูก จนถึงกระดูกผิดรูป จะพบได้มากที่สุดในหญิงที่มีบุตรแล้ว อาการของโรคที่พบได้ง่ายที่สุดคือ จะรู้สึกเจ็บ จากการกดกระดูกโดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระดูกต้นขา กระดูกสันหลัง และกระดูกซี่โครง เรียกว่าโรค *"อิไต-อิไต"* ซึ่งแปลเป็นไทยว่า *"โอ้ยเจ็บๆ"* อันเป็นคำอุทานเมื่อรู้สึกเจ็บปวดถ้าเป็นมาก กระดูกจะฝ่อและผิดรูป ถึงขั้นเดินไม่ได้และแม้กระทั่งกระดูกจะหักเพียงแค่ไอแรงๆ ในช่วง 20 ปีหลังจากเกิดเหตุมีคนตายเนื่องจากโรคนี้กว่าร้อยคนภายหลังจากนี้ได้พบโรคนี้อีกหลายแห่งในประเทศญี่ปุ่น (ศุภมาศ, 2540)

**10. 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 จะถูกขับออกร่างกายได้ ส่วนที่เหลือจะหมุนเวียนในกระแสเลือดและสะสมในอวัยวะต่างๆ เช่น ตับ ม้าม ไต โดยในไตจะสะสมอยู่ประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกาย (อรดี, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**10.1 ปริมาณที่ร่างกายได้รับแคดเมียมแล้วเกิดอันตราย**

ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าไปในร่างกายส่วนใหญ่จะเกิดจากการกิน ซึ่งทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน โดยการเกิดพิษจะแบ่งตามปริมาณแคดเมียมที่ได้รับเข้าไปคือ

ตารางที่ 3 ปริมาณแคดเมียมที่ร่างกายได้รับ

| ปริมาณแคดเมียม/มิลลิกรัม | อาการ |
|---|---|
| 3/90 | อาเจียนแต่ไม่มีผลทำให้เสียหาย |
| 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 และ WHO ที่กำหนดปริมาณแคดเมียมสูงสุดที่มนุษย์จะได้รับไม่เกิน 7 ไมโครกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม หรือ 420 ไมโครกรัม สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม แต่ถ้ากินอาหารจากตับสัตว์ที่มีการปนเปื้อนของสารแคดเมียมเป็นประจำบ่อยๆ จะได้รับแคดเมียมจากอาหารสู่ร่างกายสูง การขับแคดเมียมออกจากร่างกายคนมีครึ่งชีวิต (half-life) ประมาณ 30 ปี ร่างกายจึงจะขับแคดเมียมออกได้ครึ่งหนึ่งของจำนวนที่มีอยู่ในร่างกาย ทำให้ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเป็นประจำจะมีการสะสมอยู่ในร่างกายมากขึ้นทุกวันจนเป็นอันตรายมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**11. ค่ามาตรฐานของแคดเมียม**

**มาตรฐานแคดเมียมที่มีอยู่ในดิน**

ตารางที่ 4 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

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

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2547)

ตารางที่ 5 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอื่นนอกเหนือจากการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

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

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2547)

ตารางที่ 6 มาตรฐานะดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอแลนด์

| Metal | Soil (mg/kg dryweight) | | | Ground water (ug/L) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | A | B | C |
| Cd | 0.4+0.007(L+3H)* | 5 | 20 | 1.5 | 2.5 | 10 |

*L = % ของอนุภาค Clay, H = % อินทรียวัตถุในดิน ;

A = ปริมาณที่พบในดินทั่วไป

B = ปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง

C = ปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด

ที่มา Allen *et al.*, (1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**มาตรฐานค่าแคดเมียมที่มีอยู่ในน้ำ**

น้ำที่มีความกระด้างในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร ต้องมีค่าแคดเมียมไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร

น้ำที่กระด้างในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตเกินกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร ต้องมีค่าแคดเมียมไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร

ในน้ำดื่มนั้นองค์การอนามัยโลกระบุไว้ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นยอมให้มีแคดเมียมในน้ำได้ 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร

**มาตรฐานแคดเมียมอื่นๆ**

มาตรฐานโคเด็กซ์ในผักมีการกำหนดให้สารแคดเมียมปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

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

องค์การอนามัยโลกกำหนดค่าปกติแคดเมียมในปัสสาวะ <2 ไมโครกรัม/กรัมครีอาตินีน และค่าสูงสุดที่อนุญาตให้มีได้ 10 ไมโครกรัม/กรัมอาครีอาตินีน

องค์การอนามัยโลกกำหนดค่าปกติแคดเมียมในเลือด 5 ไมโครกรัม/ลิตร และค่าสูงสุดที่อนุญาตให้มีได้ 10 ไมโครกรัม/ลิตร

**12. เทคโนโลยีในการบำบัดสารพิษในดิน**

วิธีบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและน้ำในดิน สามารถแบ่งเป็น 11 วิธีได้แก่

1. Isolation and containment

คือ วิธีการแยกและควบคุมโลหะหนัก โดยการปรับสภาพให้คงตัว (Solidification) หรือการปรับสภาพให้เสถียร (Stabilization) เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะ

2. Mechnical separation

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

3. Pyrometallurgical separation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ วิธีบำบัดสำหรับโลหะหนักที่สามารถระเหยได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-700°C เป็นวิธีที่เหมาะกับการบำบัดปรอท

4. Chemical treatment

คือ วิธีการบำบัดทางเคมี โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและรีดักชั่น หรือการปรับ pH ด้วยสารละลายกรดหรือเบส เพื่อลดความเป็นพิษ ตกตะกอนหรือเพื่อละลายโลหะหนัก

5. Permeable treatment walls

คือ การบำบัดโดยใช้แผงกั้นที่มีความสามารถในการซึมผ่าน เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะในน้ำใต้ดิน

6. Electrokinetics

คือ การแยกไอออนบวกและไอออนลบในน้ำใต้ดิน โดยผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังขั้วอิเล็คโทรดทั้งสอง(cathode and anode)

7. Biochemical process

คือ วิธีการบำบัดโดยอาศัยกระบวนการทางชีวเคมีได้แก่ การชะทางชีวภาพ ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นการใช้แบคทีเรียและควบคุมสภาวะต่างๆเช่น ปริมาณค่าออกซิเจน pH เป็นต้น

8. Phytoremediation

คือ การบำบัดโดยใช้พืชเป็นตัวสกัดโลหะหนักออกจากดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งอาจนำวิธีบำบัดวิธีอื่นมาร่วมด้วย เช่น การสกัดโลหะหนักด้วยกรด

9. Soil Flushing

คือ วิธีการสกัดโลหะหนักออกจากดินโดยใช้น้ำหรือสารละลายชะสิ่งเจือปนออกมา ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายในแหล่งปนเปื้อนได้

10. Treatment of sediments

คือ วิธีการบำบัดการตะกอนโดยอาศัยหลักการต่างๆ เช่น Hydrocyclone, Solidification, stabilization และการสกัดด้วยสารละลายกรด

11. Soil washing

คือ วิธีการกำจัดโลหะหนักออกจากดินปนเปื้อนด้วยการใช้สารละลายสกัดต่างๆ เช่น คีเลตติงเอเจอนต์ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายนอกแหล่งปนเปื้อนได้

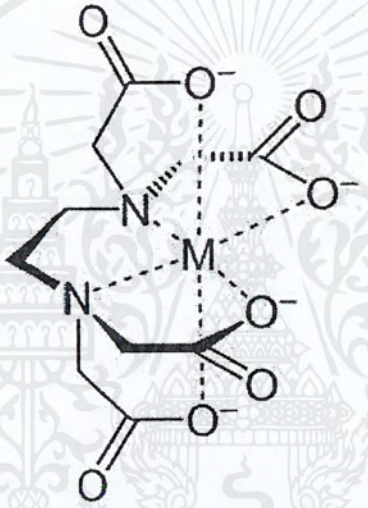
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**13.น้ำยาสกัด อีดีทีเอ (Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid, EDTA)**

**13.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอีดีทีเอ**

อีดีทีเอหรือ Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid เป็นสารประกอบหลักในน้ำยาทำความสะอาดผิว บ้างก็นำอีดีทีเอมาใช้เป็นสารคีเลชั่น เนื่องจากว่าอีดีทีเอสามารถจับกับโลหะหนักและโลหะทรานซิชันทำให้สามารถละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้อีดีทีเอยังใช้เป็นตัวยับยั้งการเน่าเสียของอาหาร โดยเอนไซม์ที่ทำให้อาหารสียนั้นจะจับอยู่กับโลหะทรานซิชัน อีดีทีเอจะจับกับโลหะนั้นแทนทำให้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสียได้(Benjamin, 2002) โรงงานที่ใช้อีดีทีเอเป็นสารคีเลชั่น คือ โรงงานที่ใช้กระบวนการชุบโลหะแบบ non-cyanide based โรงงานกระดาษและเยื่อกระดาษ

**13.1 น้ำยาสกัด EDTA**




ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของ EDTA

- EDTA (Ethylenediamine tetraacetic acid) จัดเป็น chelating agent
- สารประกอยเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยโลหะที่เกิดพันธะกับลิแกนด์ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไปเรียกว่า chelate (คีเลต) และลิแกนด์ดังกล่าวเรียกว่า chelating agent
- โมเลกุล EDTA สามารถเกาะกับไอออนของโลหะโดยการขึ้นรูปหกพันธะ จากอะตอมไนโตรเจนในหมู่อะมิโนและสี่จากอะตอมออกซิเจนในกลุ่ม แฟพินปัส
- การที่คีเลตเข้าไปจับกับโลหะหนักเมื่อทำการชะโลหะหนักโดยวิธี Soil Flushing จึงทำให้แคดเมียมละลายออกมาในรู้ไอออนเชิงซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คุณสมบัติของอีดีทีเอ**

| | |
|---|---|
| สูตรทางเคมี | $C_{10}H_{16}O_8N_2$ |
| CAS Number | 60-00-4 |
| ลักษณะ | เกร็ดหรือผงสีขาว |
| มวลโมเลกุล | 292.25 |
| พีเอช | 2.5-3.0 |
| $pK_{a1-6}$ | 0.0,1.5,2.0,2.66,6.16 และ10.24 |
| ความสามารถในการละลาย | 0.05 g/100ml |
| ค่า chelation | 3.39 mmo/g |
| จุดหลอมเหลว | 240 องศาเซลเซียส |

ที่มา : Chemicalland,(2003)

**13.2 ความเป็นพิษของอีดีทีเอ**

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

ปริมาณสาร EDTA ต่อดินที่ใช้

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. เครื่องเขย่า (Sheker NO.8315)
7. เครื่องชั่ง (DENVER INSTRUMENT TB-214,TB-202)

### 2) เครื่องแก้วและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์

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. ถุงพลาสติก
15. กรวยกรอง
16. แท่งแก้วคน
17. หลอด Centrifuge ขนาด 50 มล.
18. หลอดหยด
19. อุปกรณ์อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง**

1. Acidified sodium chloride
2. Ammonium acetate
3. Ascorbic acid
4. Boric acid-indicator solution
5. Bromocresol green
6. Buffer pH 4, pH 7
7. Calcium chloride
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

**4) สารเคมีที่ใช้สกัด**

Ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

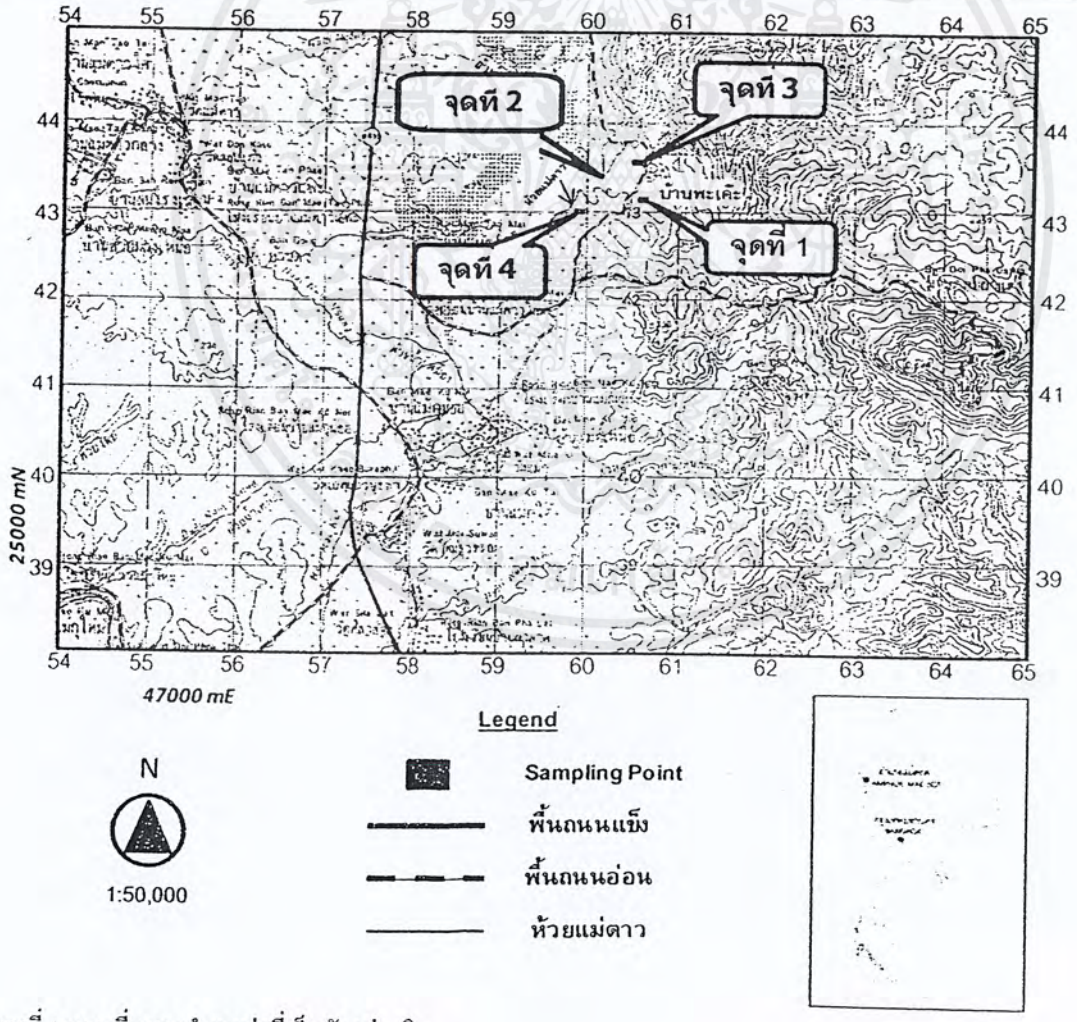
## วิธีการทดลอง

### 1. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลองกับดินบ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตากทำการเก็บตัวอย่างดิน 4 จุดซึ่งมีการปนเปื้อนแคดเมียมในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1

ตารางที่ 7 จุดที่เก็บและพิกัดของตัวอย่างดิน

| จุดที่ | รายละเอียด | พิกัด | |
|---|---|---|---|
| | | Latitude (N) | Longitude (E) |
| 1 | แปลงนา (ติดห้วยแม่ตาว) | 1843577 | 0460144 |
| 2 | แปลงปลูกยาง | - | - |
| 3 | หมู่บ้านพะเด๊ะ | 1843716 | 0460199 |
| 4 | แปลงข้าวโพด (จุดอ้างอิง-ห่างจากลำห้วยแม่ตาวประมาณ 100 เมตร) | 1843458 | 0459647 |




ภาพที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน

ที่มา : กรมแผนที่ทหาร (2522)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2. การเก็บตัวอย่างดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม (Cd)**

การเก็บตัวอย่างดิน เก็บตัวอย่างดินที่บ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. จำนวน 4 จุด ซึ่งนำมาทดสอบการบำบัดดิน โดยเก็บจุดละ 100 กิโลกรัม แบ่งเป็น 0-15 ซม. 50 กิโลกรัม และ 15-30 ซม. 50 กิโลกรัม

**3. การเตรียมตัวอย่างดิน**

**3.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้นของดิน**

1) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ใช้อัตราส่วน ดิน : น้ำ เท่ากับ 1: 2 โดยทำการชั่งดินมา 10 กรัม บรรจุในกระป๋องพลาสติกเติมน้ำกลั่นลงไป 20 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 matter) โดยใช้วิธี wet oxidation (Walkley and Black, 1934) โดยออกซิไดซ์ดินด้วย $K_2Cr_2O_7$ และ $H_2SO_4$ เข้มข้น แล้วหาปริมาณอินทรียคาร์บอน โดยการไทเทรตกับสารละลาย Ferric sulfate ($FeSO_4$) นำค่าอินทรีคาร์บอนที่ได้คูณด้วย 1.724

4) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุ (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 $NH_4OAc$ ที่เกิดด้วย elhyl alcohol ปริมาณ 100มิลลิลิตร 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 AAS สำหรับแคดเมียม แมกนีเซียม เติม strontium chloride (ชั่ง $SrCl_2$ 72 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรใน Volumetric flask 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้ในปริมาณ 25% ของปริมาตรสุดท้าย) แล้วนำไปเทียบความเข้มข้นกับ standard solution

6) การเตรียม Standard solution (Cd, Mg, K, Na, Ca) การเตรียม Std K ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm จาก Stock Std 100 ppm โดยการดูด Stock Std มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียม Std Na ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ppm จาก Stock Std 50 ppm โดยการดูด Stock Std มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตรและใส่ $SrCl_2$ 12.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร

การเตรียม Std Ca ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm จาก Stock Std 100 ppm โดยการดูด Stock Std มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตรและใส่ $SrCl_2$ 12.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร

การเตรียม Std Mg ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 ppm จาก Stock Std 50 ppm โดยการดูด Stock Std มา 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 และ 7.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร

การเตรียม Std Cd ที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ppm จาก Stock Std 1000 ppm โดยการดูด Stock Std 100 ppm แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร จะได้ Std 1000 ppm และดูด Std 1000 ppm ใส่ลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

**4. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของดิน**

ในการวิเคราะห์ขนาดของเนื้อดิน 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 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ นำไปคำนวณ

3) นำบีกเกอร์หนึ่งมาเติม Calgon จำนวน 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที นำไปกวนด้วยเครื่องกวน (mechanical stirrer) 5 นาที

4) เทส่วนผงผสมของดินและน้ำจากข้อ 3 ลงในกระบอกตวง ขนาด 1,000 มิลลิลิตร โดยเทผ่านตะแกรงร่อนขนาด 300 เมช (mesh) สิ่งที่ตกค้างอยู่ในตะแกรงคืออนุภาคทรายอนำไปใส่ภาชนะอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสหรือน้ำหนักคงที่

5) ส่วนที่ผ่านตะแกรงลงในกระบอกตวงคือ อนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียว ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร ทิ้งสารแขวงลอยให้คงที่เท่ากับอุณหภูมิห้องจากนั้นคนด้วย plunger ให้ทั่วแล้วจับเวลา

6) ดูดสารแขวงลอยในกระบอกตวงโดยใช้ pipette apparatus (จะเป็นอนุภาคดินเหนียว) เวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความลึกซึ่งจะเป็นไปตาม Stock'law นำไปอบให้น้ำหนักคงที่แล้วชั่งหาน้ำหนัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

**5. การวิเคราะห์หาปริมาณ Total Cd ที่มีอยู่ในดิน**

ในการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนทั้งหมดในดิน วิเคราะห์ได้โดยใช้กรดไนตริกและกรดเปอร์คลอริก ด้วยวิธี wet digestion ดังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ในภาพที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ลงในหลอด digestion tube

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

3. นำไปตั้งบนเตา digest โดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 30 นาที เพิ่มเป็น 100 องศาเซลเซียส อีก 30 นาที และเพิ่มเป็น 130 องศาเซลเซียส อีก 30 นาที สุดท้ายเพิ่มเป็น 155 องศาเซลเซียส ใช้เวลาจนกว่าสารละลายเกือบแห้ง ดินจะมีสีซีดจนเป็นสีขาวและมีควันหรือไอสีขาวขึ้นจะถือว่า digest เสร็จสมบูรณ์

4. หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

5. นำไปวัดปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่อง AAS

**6. การสกัดแคดเมียมออกจากดินโดยเทคนิคการชะล้างดิน (Soil Flushing)**

**6.1 เตรียมอุปกรณ์**

1) เตรียมท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.4 ซม. ยาว 20 ซม.

2) นำตาข่ายพลาสติก และกระดาษกรองมารัดที่ก้นท่อ PVC

3) เตรียมถุงน้ำเกลือพร้อมสายน้ำเกลือ

4) เตรียมกระป๋องไว้รองรับสารละลาย EDTA หลังจากการชะล้างดินแล้ว

**6.2 การหาค่ามวลดิน**

คำนวณมวลดินที่จะใส่ในกระบอก PVC โดยค่า Bulk Density ใน PVC ต้องใกล้เคียงกับสภาพพื้นที่จริง โดยหาได้จากนำค่า Bulk Density ที่ได้มาหาค่ามวลดิน

มวลดิน = Bulk Density x ปริมาตร (PVC)

ปริมาตร ; r = 2.2 , h = 15

$\pi r^2 h$ = 3.14 x 2.2 x 2.2 x 15 = 227.964 ~ 228

จุดที่ 1 0-15 Bulk Density = 1.03 $g/cm^3$

ค่ามวลดิน = 1.03 x 228 = 234.84 ~ 235 g.

จุดที่ 1 15-30 Bulk Density = 1.24 $g/cm^3$

ค่ามวลดิน = 1.24 x 228 = 282.72 ~ 283 g.

จุดที่ 2 0-15 Bulk Density = 1.03 $g/cm^3$

ค่ามวลดิน = 1.03 x 228 = 234.84 ~ 235 g.

จุดที่ 2 15-30 Bulk Density = 1.24 $g/cm^3$

ค่ามวลดิน = 1.24 x 228 = 282.72 ~ 283 g.

จุดที่ 3 0-15 Bulk Density = 1.34 $g/cm^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ามวลดิน = 1.34 x 228 = 305.52 ~ 306 g.

จุดที่ 3 15-30 Bulk Density = 1.54 g/cm$^3$

ค่ามวลดิน = 1.54 x 228 = 351.12 ~ 351 g.

จุดที่ 4 0-15 Bulk Density = 1.44 g/cm$^3$

ค่ามวลดิน = 1.44 x 228 = 328.32 ~ 328 g.

จุดที่ 4 15-30 Bulk Density = 1.60 g/cm$^3$

ค่ามวลดิน = 1.60 x 228 = 364.8 ~ 365 g.

**6.3 การหาค่าความหนาแน่นอนุภาคดิน**

1.เติมน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือดแล้วลงไปใน volumetric flask ขนาด 100 ml. ประมาณครึ่งขวด

2.ชั่งตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรง 2 mm. หนัก 25 g.

3.เทตัวอย่างดินลงใน volumetric flask อย่างช้าๆ ขณะเดียวกันก็เขย่าขวดเบาๆให้อนุภาคดินจมลงไปในน้ำเพื่อไม่ให้มีฟองอากาศติดลงไปกับอนุภาคดิน

4.เติมน้ำกลั่นเย็นที่ผ่านการต้มจำนวนเล็กน้อย เพื่อล้างอนุภาคดินตามข้างขวดให้ลงไปใต้ผิวน้ำในขวดให้หมด โดยให้น้ำท่วมผิวดินแล้วยังมีปริมาตรเหลือที่จะเติมน้ำได้อีก เช็ดขวดให้แห้ง

5.นำขวดไปวางบน hot plate พร้อมกับใช้ test tube holder จับที่คอขวด เขย่าไปด้วยเป็นครั้งคราว ขณะอุ่นจนเริ่มมีไอน้ำที่ปากขวด อุ่นต่อไปอีก 3 นาที ยกลง ทั้งนี้เพื่อให้น้ำแทรกเข้าไปในที่ว่างระหว่างอนุภาคและแทนที่อากาศให้หมด ทำให้ขวดเย็นลง โดยนำขวดไปวางในอ่างน้ำ ใช้ beaker เล็กๆครอบปากขวด แล้วเปิดก๊อกให้น้ำไหลเบาๆลงที่ก้น beaker หลังจากนั้นนำขวดไปวางใน desiccator ที่ต่อกับ suction pump ที่มีแรงดึงอากาศออกไปจาก desiccator ช้าๆและนานจนกระทั่งฟองอากาศในขวดหายไปหมด และปล่อยให้เป็นเช่นนั้นต่อไปอีก 3 นาที จึงต่อยๆเปิดให้อากาศเข้ามาใน desiccator

6.เติมน้ำกลั่นลงไปในขวดจนถึงขีดปริมาณ ใช้ผ้าเช็ดน้ำรอบๆขวดจนแห้งสนิท นำไปชั่งบันทึกน้ำหนักไว้เป็น $m_2$ g. ซึ่งเป็นค่ารวมของน้ำหนักของขวด น้ำหนักตัวอย่างดิน $m_1$ g. และน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับผลต่างระหว่างความจุของขวดนี้กับปริมาตรของส่วนที่เป็นของแข็งของดิน ดังนั้นปริมาตรของน้ำส่วนนี้เท่ากับ $m_2 - m_1$ – นน.ขวด

7.หาปริมาตรของขวดโดยการล้างขวดนี้ให้สะอาด แล้วเติมน้ำให้ถึงขีดปริมาตร เช็ดขวดให้แห้งสนิท ชั่งน้ำหนักซึ่งเท่ากับ $m_3$ g. ความจุของขวดนี้จะเท่ากับ $m_3$ – นน.ขวด

8.คำนวณความหนาแน่นอนุภาคของดินได้ดังนี้

น้ำหนักตัวอย่างดิน = $m_1$ g.

ปริมาตรของส่วนที่เป็นของแข็งของดิน = (ความจุของขวด) – (ปริมาตรของน้ำที่เติมให้ครบปริมาตรขณะมีดินอยู่ในขวด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= (m_3 - \text{นน.ขวด}) - (m_2 - m_1 - \text{นน.ขวด})$

$= (m_3 - m_2 + m_1)$

ความหนาแน่นอนุภาคของดิน (Ds) $= \frac{m_1}{(m_3 - m_2 + m_1)}$

จุดที่ 1 0-15 Ds = 25/153.09 - 166.51 + 25 = 2.16 $g/cm^3$

จุดที่ 1 15-30 Ds = 25/153.09 - 166.46 + 25 = 2.15 $g/cm^3$

จุดที่ 2 0-15 Ds = 25/153.09 – 166.84 + 25 = 2.22 $g/cm^3$

จุดที่ 2 15-30 Ds = 25/153.09 – 165.66 + 25 = 2.01 $g/cm^3$

จุดที่ 3 0-15 Ds = 25/153.09 – 165.795 + 25 = 2.03 $g/cm^3$

จุดที่ 3 15-30 Ds = 25/153.09 – 168.76 + 25 = 2.68 $g/cm^3$

จุดที่ 4 0-15 Ds = 25/153.09 – 168.385 + 25 = 2.58 $g/cm^3$

จุดที่ 4 15-30 Ds = 25/153.09 - 166.495 + 25 = 2.61 $g/cm^3$

**6.4 การหาค่า Pore Volume**

1. ชั่งน้ำหนัก Beaker
2. ชั่งดินแต่ละตัวอย่างจำนวน 40 g. ลงใน Beaker
3. ใส่น้ำกลั่นจนดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
4. นำไปชั่งน้ำหนัก

; $f = \frac{V}{V + Vs} \times 100$

$Vs = \frac{M}{Ds}$

V (ml) = volume of water added

Vs (ml) = volume of soil particles

M (g) = mass of the dry soil

Ds (g/ml) = density of soil particles

$Vp = \frac{f}{100} \times \pi r^2 h$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vp ($cm^3$, ml) = pore volume of the soil column

r (cm) = radius of the column

h (cm) = height of the soil column

f = total porosity of the soil

จุดที่ 1 0-15 Vs = 235/2.16 = 108.796 ml.

f = 18 x 100/18+108.796 = 14.196

Vp = 14.196 x 288/100 = 32.36688 ~ 30 ml.

จุดที่ 1 15-30 Vs = 283/2.15 = 131.628 ml.

f = 15 x 100/15 + 131.628 = 10.23

Vp = 10.23 x 288/100 = 23.3244 ~ 25 ml.

จุดที่ 2 0-15 Vs = 235/2.22 = 105.856 ml.

f = 15 x 100/15 + 105.856 = 12.411

Vp = 12.411 x 288/100 = 28.29708 ~ 30 ml.

จุดที่ 2 15-30 Vs = 283/2.01 = 140.796 ml.

f = 14 x 100/14 + 140.796 = 9.044

Vp = 9.044 x 288/100 = 20.62032 ~ 20 ml.

จุดที่ 3 0-15 Vs = 306/2.03 = 150.739 ml.

f = 14 x 100/14 + 150.739 = 8.498

Vp = 8.498 x 288/100 = 19.37544 ~ 20 ml.

จุดที่ 3 15-30 Vs = 351/2.68 = 130.97 ml.

f = 13 x 100/13 + 130.97 = 9.03

Vp = 9.03 x 288/100 = 20.5884 ~ 20 ml.

จุดที่ 4 0-15 Vs = 328/2.58 = 127.132 ml.

f = 12 x 100/12 + 127.132 = 8.62

Vp = 8.62 x 288/100 = 19.6536 ~ 20 ml.

จุดที่ 4 15-30 Vs = 365/2.61 = 139.847 ml.

f = 12 x 100/12 + 139.847 = 7.90

Vp = 7.90 x 288/100 = 18.012 ~ 20 ml.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**6.5 การเตรียมน้ำยาสกัด EDTA**

g.EDTA = Mole EDTA : Cd

3:1

ตารางที่ 8 ปริมาณสาร EDTA ที่ใช้ในการสกัดแคดเมียม

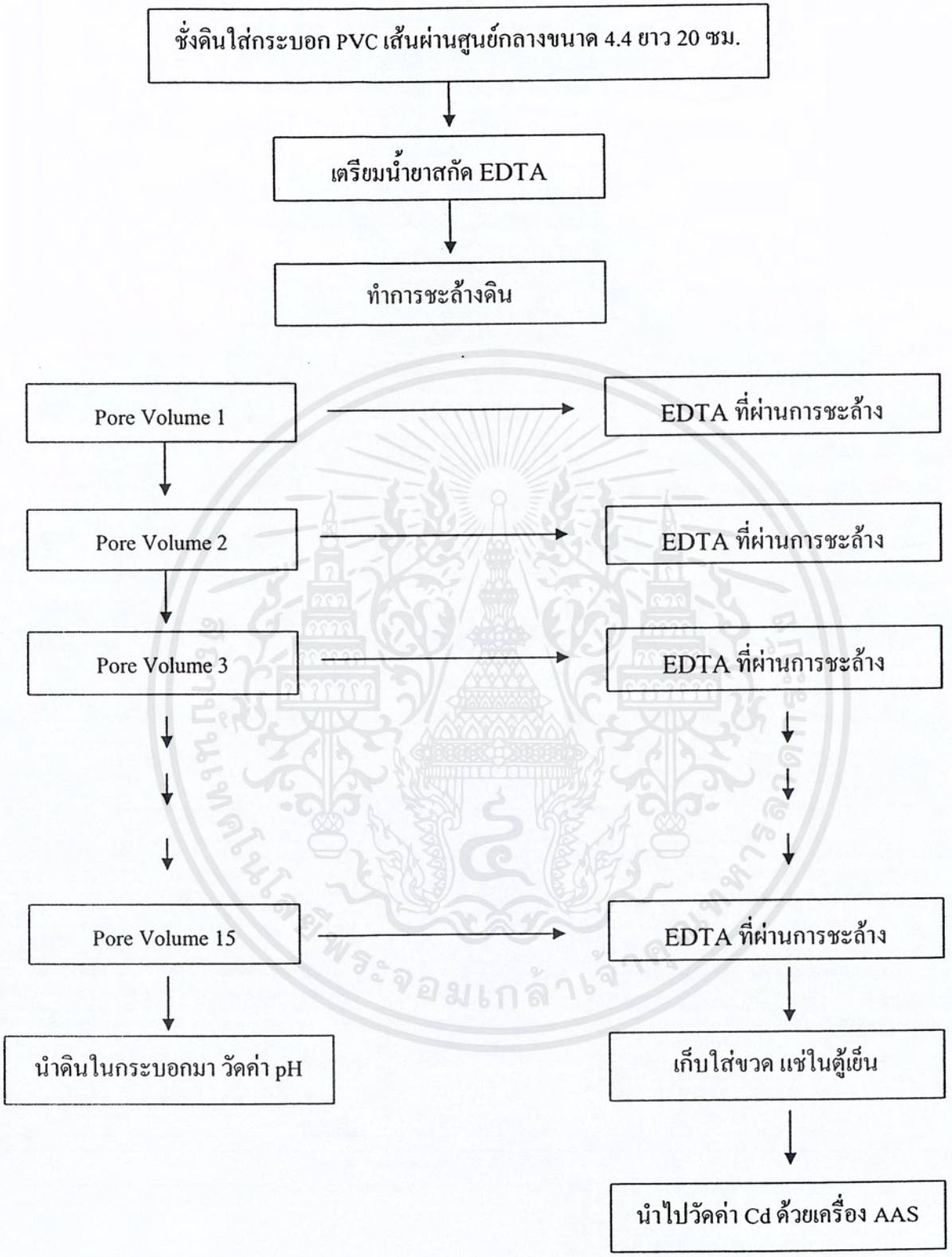
| ชนิดดินที่ | ความลึก (cm.) | ปริมาณ EDTAที่ใช้ (g.) | ปริมาสารละลายที่ใช้ 3:1 mol (EDTA:Cd) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0-15 | 1.4108 | 30 |
| 1 | 15-30 | 2.6030 | 25 |
| 2 | 0-15 | 0.6260 | 30 |
| 2 | 15-30 | 0.0794 | 20 |
| 3 | 0-15 | 0.7650 | 20 |
| 3 | 15-30 | 1.8678 | 20 |
| 4 | 0-15 | 0.0994 | 20 |
| 4 | 15-30 | 0.0794 | 20 |

**4.6 ขั้นตอนการชะล้างดิน**

ขั้นตอนการชะล้างดินโดยใช้ EDTA ดังแสดงในภาพที่ 3

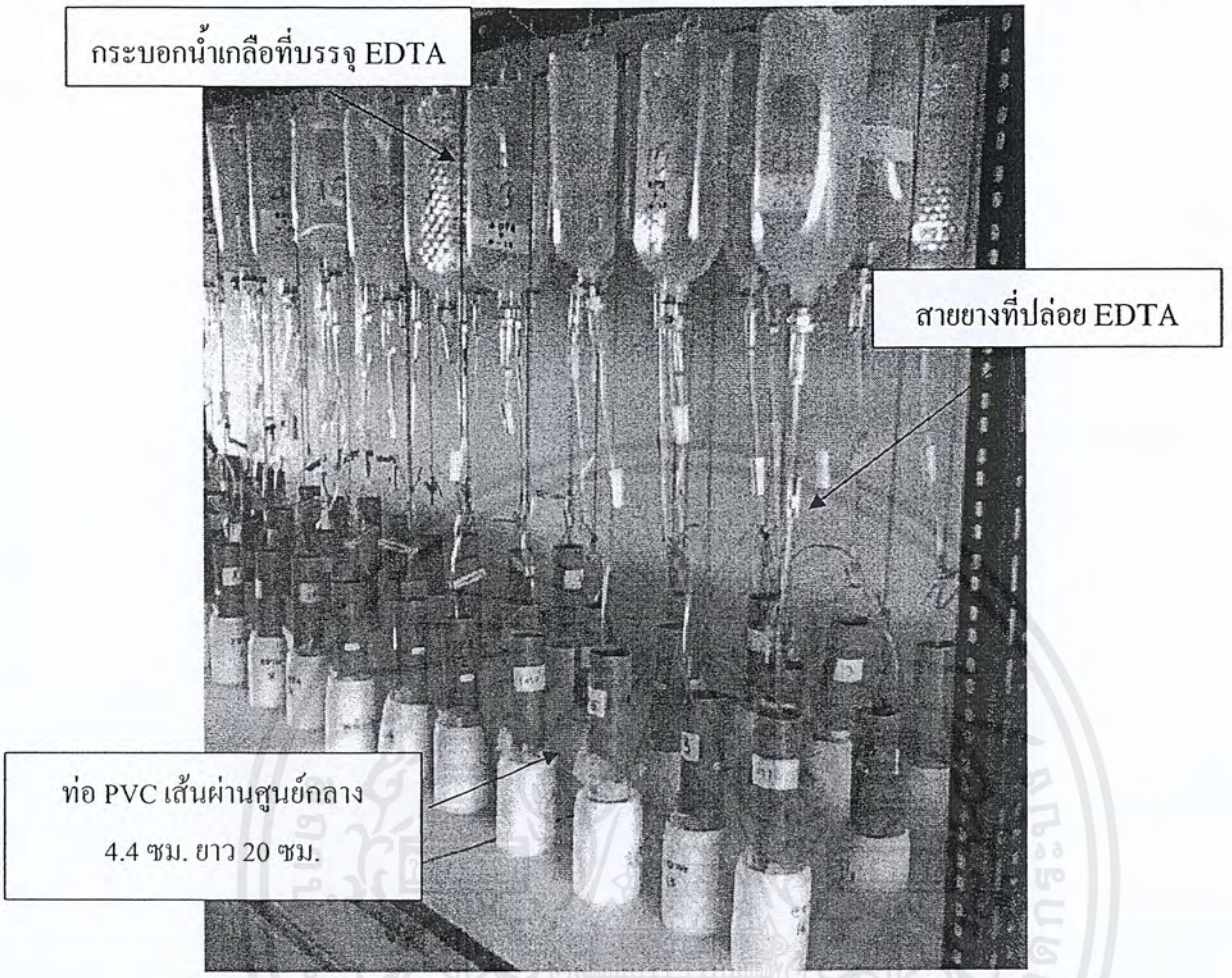
1) ชั่งดินใส่กระบอก PVC ตามค่ามวลดินที่ได้จากการคำนวณความหนาแน่นของดินในแต่ละจุดให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นในพื้นที่จริง
2) นำท่อ PVC ที่มีตัวอย่างดินแช่ในน้ำเพื่อไล่ฟองอากาศออกทำให้ดินมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นในพื้นที่จริง
3) EDTA จำนวน 1 Pore Volume ให้ทำการชะล้างดิน ดังแสดงในภาพที่ 4
4) รอจน EDTA ในแต่ละ Pore Volume หยดจนหมด แล้วนำมาเก็บใส่ขวดไว้ทำการทดลองต่อ
5) ทำการชะล้างดินในแต่ละชนิด จนครบ 15 Pore Volume
6) นำ EDTA ที่ชะล้างแคดเมียมที่ได้ไปวัดปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
7) นำดินในกระบอกมาตากให้แห้งแล้วนำไปวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ใช้อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการสกัดแคดเมียมออกจากดิน โดยวิธีชะล้างดิน (Soil Flushing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ภาพที่ 4 แสดงการจำลองการชะล้างดินในห้องปฏิบัติการโดยใช้น้ำยาสกัด EDTA

**7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ผลการทดลอง

**1. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน**

1.1) จุดที่ 1 จากการทดลองพบว่าทั้งดินบนและดินล่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในระดับด่างเล็กน้อยถึงด่างปานกลางประมาณ (pH 7.56-8.29) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าค่อนข้างสูงถึงสูงมาก (3.36-6.50%) ส่วนค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) มีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง (10.77-12.11 me/100g soil) และด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าสูงมาก (50.60-58.55 me/100g soil) ในส่วน Mg มีค่าสูงมาก (5.05-5.15 me/100g soil) ส่วน Na มีค่าต่ำ (0.25-0.28 me/100g soil) ส่วน P ที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าค่อนข้างต่ำ (8.79-9.36 mg/kg) และส่วน K มีค่าสูง (0.93-1.55 me/100g soil) ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าสูงมาก (372-417) ดังแสดงในตารางที่ 9

1.2) จุดที่ 2 ดินบนและดินล่างมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในระดับด่างเล็กน้อยประมาณ (pH 7.69-7.71) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าปานกลางถึงค่อนข้างสูง (1.72-3.51%) ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) มีค่าอยู่ในระดับปานกลาง (13.63-17.55 me/100g soil) ส่วนด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าสูงมาก (35.4-50.0 me/100g soil) ในส่วน Mg มีค่าสูงมาก (6.15-6.80 me/100g soil) ส่วน Na มีค่าต่ำ (0.23-0.29 me/100g soil) ส่วน P ที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าค่อนข้างต่ำ (7.74-10.21 mg/kg) และส่วน K มีค่าสูง (1.04-2.38 me/100g soil) ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าสูงมาก (403-485) ดังแสดงในตารางที่ 9

1.3) จุดที่ 3 พบว่าทั้งดินบนและดินล่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในระดับด่างปานกลาง (pH 8.37-8.40) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าปานกลางถึงค่อนข้างสูง (2.04-2.68%) ส่วนค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงค่อนข้างต่ำ (5.62-8.67 me/100g soil) และด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าสูงมาก ( 31.80-35.45 me/100g soil) ในส่วน Mg มีค่าสูง ( 3.05-3.10 me/100g soil) ส่วน Na มีค่าต่ำ (0.13-0.24 me/100g soil) ส่วน P ที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าค่อนข้างต่ำ (7.43-8.76) และส่วน K มีค่าสูง (0.52-0.60 me/100g soil) ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าสูงมาก (453-633) ดังแสดงในตารางที่ 9

1.4) จุดที่ 4 ดินบนและดินล่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นกลาง (pH 6.87-7.14) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง (1.32-2.02) ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) มีค่าค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง (10.49-12.29 me/100g soil) ส่วนด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าสูง (14.20-14.70 me/100g soil) ในส่วน Mg มีค่าสูงมาก (3.50-3.60 me/100g soil) ส่วน Na มีค่าต่ำ (0.18-0.22 me/100g soil) ส่วน P ที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าปานกลาง (11.02-12.77) และส่วน K มีค่าสูง (0.60-0.68 me/100g soil) ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าสูง (155-177) ดังแสดงในตารางที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางเคมีของดิน

| Soil | Dept (cm) | pH ดิน : น้ำ 1 : 2 | % OM | Exchangeable base ( me/100 g soil) | | | | %BS | CEC (me/100 g soil) | Avail P (mg/kg) | Total Cd (mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Ca | Mg | Na | K | | | | |
| 1 | 0-15 | 7.56 | 6.50 | 58.55 | 5.05 | 0.28 | 1.55 | 372 | 17.55 | 9.36 | 71.00 |
| | 15-30 | 8.29 | 3.36 | 50.60 | 5.15 | 0.25 | 0.93 | 417 | 13.63 | 8.79 | 131.00 |
| 2 | 0-15 | 7.69 | 3.51 | 50.00 | 6.15 | 0.29 | 2.38 | 485 | 12.11 | 7.74 | 32.50 |
| | 15-30 | 7.71 | 1.72 | 35.40 | 6.80 | 0.23 | 1.04 | 403 | 10.77 | 10.21 | 4.00 |
| 3 | 0-15 | 8.37 | 2.68 | 35.45 | 3.10 | 0.13 | 0.60 | 453 | 8.67 | 7.43 | 38.50 |
| | 15-30 | 8.40 | 2.04 | 31.80 | 3.05 | 0.24 | 0.52 | 633 | 5.62 | 8.76 | 94.00 |
| 4 | 0-15 | 7.14 | 2.02 | 14.70 | 3.60 | 0.18 | 0.60 | 155 | 12.29 | 11.02 | 5.00 |
| | 15-30 | 6.87 | 1.32 | 14.20 | 3.50 | 0.22 | 0.68 | 177 | 10.49 | 12.77 | 4.00 |

ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

| Soil | Dept (cm) | Bulk Density (g/cm3) | %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 |
| Soil-2 | 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 |
| Soil-3 | 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 |
| Soil-4 | 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 |

หมายเหตุ : S = Sand, L = Loam, SL = Sandy Loam, SiL = Silt Loam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน**

จากการศึกษาทดลองสมบัติทางกายภาพ ในตารางที่ 10 พบว่า ในดินจุดที่ 1และจุดที่ 2 ความลึก 0-15, 50-70 cm. เป็นดินร่วนทรายแป้ง ความลึก 15-30 cm. เป็นดินทราย ส่วนความลึก 30-50, 70-100 cm. เป็นดินร่วนเหนียว ส่วนดินจุดที่ 3 ดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายยกเว้นที่ระดับความลึก 50-70 cm. เป็นดินร่วน และดินจุดที่ 4 ดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนยกเว้นที่ระดับความลึก 70-100 cm. เป็นดินร่วนปนทราย ในส่วนของความหนาแน่นรวมของดินพบว่าดินจุดที่ 1 มีความหนาแน่นรวมเท่ากับ 1.03 g/cm$^3$ และค่า % moisture เท่ากับ 95.44% สูงกว่าดินจุดอื่นๆเพราะในดินจุดที่ 1 นั้นเป็นดินนา ซึ่งดินนานั้นจัดเป็นดินเหนียวมีช่องว่างน้อยและมีน้ำท่วมตลอดเวลา มีการไถพรวนจึงมีความหนาแน่นมาก

**3. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน**

ปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในดินจุดที่ 1 ที่ติดกับแปลงนาและติดกับลำห้วยแม่ตาวมีปริมาณแคดเมียมสูงสุดคือ 202 mg/kg ในดินจุดที่ 2 มีปริมาณแคดเมียมในดิน 36 mg/kg และในดินจุดที่ 3 มีปริมาณแคดเมียมในดินเท่ากับ 133 mg/kg ในขณะที่ดินจุดที่ 4 มีปริมาณแคดเมียมในดินเท่ากับ 9 mg/kg จะเห็นได้ว่าในดินจุดที่ 1 และจุดที่ 3 มีปริมาณแคดเมียมในดินมากกว่าดินจุดที่ 2 และจุดที่ 4 หลายเท่า อาจเป็นเพราะดินอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำแม่ตาว ที่ไหลลงผ่านเหมืองผาแดงมีตะกอนทับถมมากและมักพบค่าแคดเมียมในดินล่าง (15-30 cm.) มีปริมาณแคดเมียมมากกว่าในดินบนแสดงให้เห็นถึงการสะสมของแคดเมียมมาเป็นเวลานานไหลลงสู่ดินล่าง และในดินจุดที่ 4 ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงนั้นมีปริมาณแคดเมียมน้อยกว่าดินจุดอื่นๆ แต่ปริมาณแคดเมียมที่พบก็มีปริมาณมากพอที่ควรเฝ้าระวัง ซึ่งจะเห็นได้ว่าในดินจุดที่ 1 และจุดที่ 3 มีระดับแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัดตามมาตรฐานระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนธอแลนด์ (20 mg/kg) ดังแสดงในตารางที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4. ผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาสกัดอีดีทีเอ (EDTA) ปริมาณความเข้มข้น 3:1 mol(EDTA:Cd) โดยใช้เทคนิคการชะล้างดิน**

**4.1 ดินจุดที่ 1 (ดินบริเวณแปลงนา ติดลำห้วยแม่ตาว)**

**(1) ดินบน (0-15 cm.)**

จากผลของการทดลองการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 3:1 mol (EDTA:Cd) เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 11และภาพที่ 5 จากการศึกษาการชะล้างดินเพื่อทำการชะแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในดินพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume ปริมาณแคดเมียมที่ชะออกมาก็เพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ การทดลองครั้งนี้พบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.0001% ใน Pore Volume ที่ 1 และเพิ่มสูงสุด 2.6762% ใน Pore Volume ที่ 15 อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมออกจากดินไม่แตกต่างจาก Pore Volume ที่ 14 พบว่าเหลือ Cd ในดิน 67.23 mg/kg ซึ่งเป็นระดับ C คือปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 16 และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมออกจากดินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และพบว่ามีความไม่แต่ต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และหลังจากการชะล้างด้วย EDTA พบว่าดินที่มีความเป็นกรดเป็นด่างลดลงจากระดับด่างเล็กน้อย pH 7.56 ลงดงอยู่ในช่วงกรดอ่อน (pH 6.54 - 6.82)

**(2) ดินล่าง (15-30 cm.)**

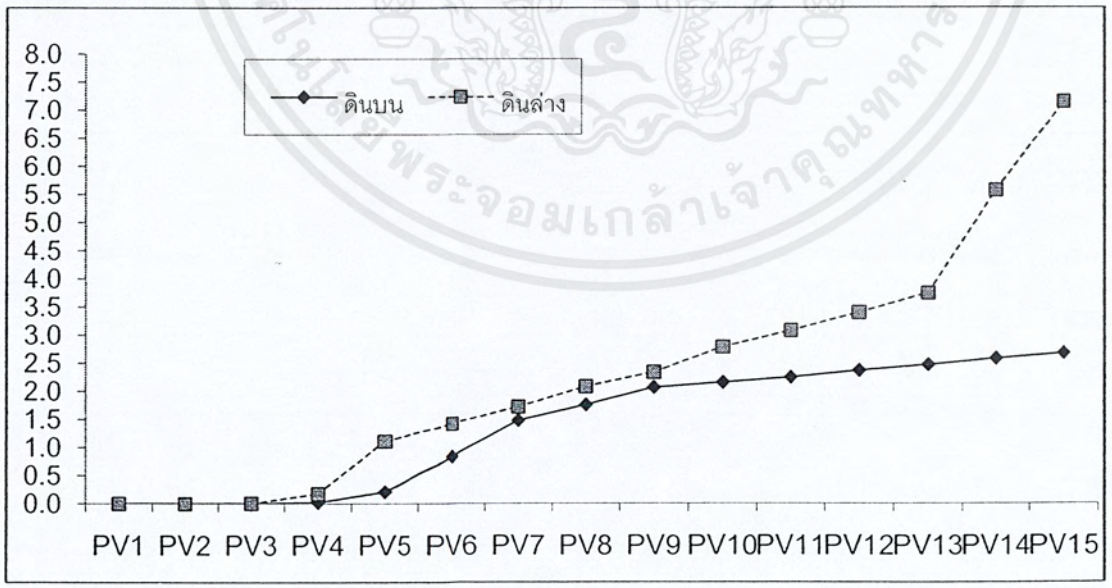
ผลของการบำบัดที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 3:1 mol (EDTA:Cd) เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 11 และภาพที่ 5 จากการศึกษาการทดลองการชะล้างดินเพื่อกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับดี เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume พบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.001% ใน Pore Volume ที่ 1 และเพิ่มสูงสุด 7.1394% ใน Pore Volume ที่ 15 พบว่าเหลือ Cd ในดิน 125.55 mg/kg ซึ่งเป็นระดับ C คือปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 16 และพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินมีความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังนั้นถ้าเพิ่มจำนวนครั้งการชะล้างมีโอกาสที่จะกำจัด Cd ออกจากดินได้มากขึ้น และหลังจากการชะล้างดินด้วย EDTA พบว่ามีความเป็นกรดอยู่ในระดับกรดอ่อนถึงเป็นกลาง (pH 6.85-7.02) โดยลดลงจากระดับด่างปานกลาง (pH 8.23)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 1 โดยใช้น้ำยาสกัด EDTA

| Pore Volume | Removal % | |
|---|---|---|
| | ชนิดดิน (จุดที่1) | |
| | ดินบน (0-15 cm.) | ดินล่าง (15-30 cm.) |
| 1 | 0.0001 j | 0.0001 l |
| 2 | 0.0001 j | 0.0009 l |
| 3 | 0.0005 j | 0.0027 l |
| 4 | 0.0202 j | 0.1765 l |
| 5 | 0.2085 i | 1.1147 k |
| 6 | 0.8366 h | 1.4220 j |
| 7 | 1.4794 g | 1.7208 i |
| 8 | 1.7531 f | 2.0770 h |
| 9 | 2.0617 e | 2.3353 g |
| 10 | 2.1554 de | 2.7855 f |
| 11 | 2.2416 d | 3.0711 e |
| 12 | 2.3618 c | 3.3902 d |
| 13 | 2.4665 bc | 3.7400 c |
| 14 | 2.5760 ab | 5.5681 b |
| 15 | 2.6760 a | 7.1394 a |

หมายเหตุ :ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT




ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 โดยใช้ EDTA ปริมาณความเข้มข้น 3:1 mol(EDTA:Cd)ในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2 ดินจุดที่ 2 (ดินบริเวณแปลงอ้อย)**

**(1) ดินบน (0-15 cm.)**

จากผลของการทดลองการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 3:1 mol (EDTA:Cd) เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 12 และภาพที่ 6 จากการศึกษาการชะล้างดินเพื่อทำการชะแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในดินพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume ปริมาณแคดเมียมที่ชะออกมาก็เพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ การทดลองครั้งนี้พบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.0053% ใน Pore Volume ที่ 2 และเพิ่มสูงสุด 2.2708% ใน Pore Volume ที่ 15 อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินมีความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบว่าเหลือ Cd ในดิน 24.90 mg/kg ซึ่งเป็นระดับ C คือปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 16 และหลังจากการชะล้างดินด้วย EDTA พบว่ามีความเป็นกรดอยู่ในระดับกรดอ่อนถึงเป็นกลาง (pH 6.83-7.01) โดยลดลงจากระดับด่างอ่อน (pH 7.57)

**(2) ดินล่าง (15-30 cm.)**

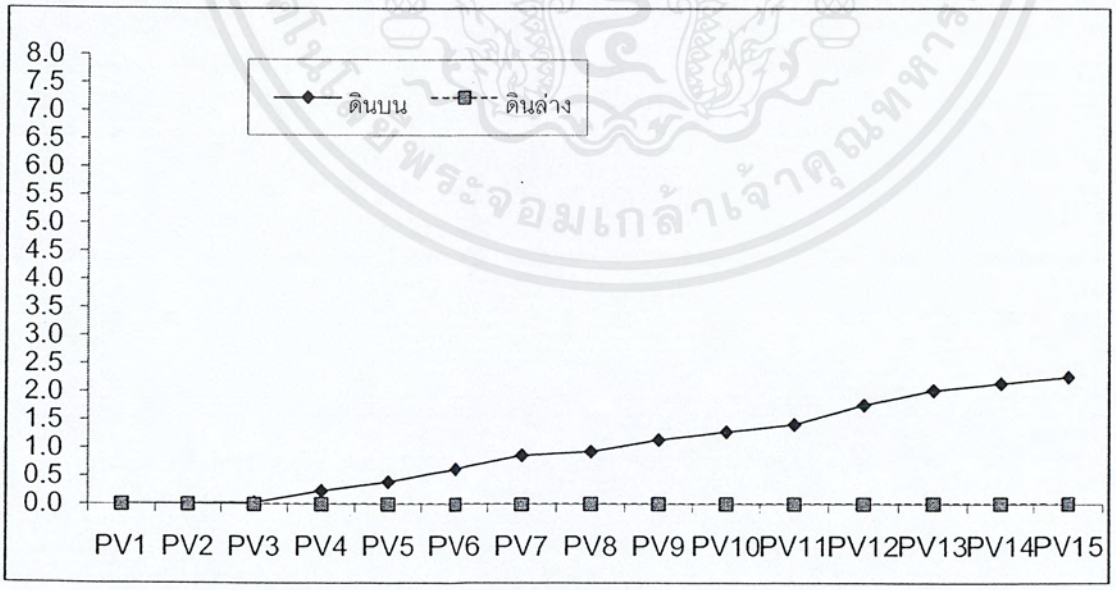
ผลของการบำบัดที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 3:1 mol (EDTA:Cd) เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 12 และภาพที่ 6 จากการศึกษาการทดลองการชะล้างดินเพื่อกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume พบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.0008% ใน Pore Volume ที่ 5 และเพิ่มสูงสุด 0.0111% ใน Pore Volume ที่ 15 พบว่าเหลือ Cd ในดิน 3.72 mg/kg ซึ่งเป็นระดับ A คือปริมาณที่พบในดินทั่วไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 16 และพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังนั้นถ้าเพิ่มจำนวนครั้งการชะล้างมีโอกาสที่จะกำจัด Cd ออกจากดินได้มากขึ้น และหลังจากการชะล้างดินด้วย EDTA พบว่ามีความเป็นกรดอยู่ในระดับกรดอ่อนถึงเป็นกลาง (pH 6.87-7.03) โดยลดลงจากระดับด่างอ่อน (pH 7.70)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 2 โดยใช้น้ำยาสกัด EDTA

| Pore Volume | Removal % | |
|---|---|---|
| | ชนิดดิน (จุดที่2) | |
| | ดิน บน 0-15 cm. | ดิน ล่าง 15-30 cm. |
| 1 | 0.0000 l | 0.0000 l |
| 2 | 0.0053 l | 0.0000 l |
| 3 | 0.0308 l | 0.0000 l |
| 4 | 0.2395 k | 0.0000 l |
| 5 | 0.3994 j | 0.0008 jk |
| 6 | 0.6265 i | 0.0016 ij |
| 7 | 0.8711 h | 0.0027 hi |
| 8 | 0.9358 h | 0.0035 gh |
| 9 | 1.1447 g | 0.0051 fg |
| 10 | 1.2887 f | 0.0065 ef |
| 11 | 1.4196 e | 0.0074 de |
| 12 | 1.7646 d | 0.0081 cd |
| 13 | 2.0255 c | 0.0090 bc |
| 14 | 2.1513 b | 0.0101 ab |
| 15 | 2.2708 a | 0.0111 a |

หมายเหตุ :ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT




ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 โดยใช้ EDTA ปริมาณความเข้มข้น 3:1 mol(EDTA:Cd)ในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.3 ดินจุดที่ 3 (ดินบริเวณหมู่บ้านพะเด๊ะ)**

**(1) ดินบน (0-15 cm.)**

จากผลของการทดลองการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 3:1 mol (EDTA:Cd) เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 13 และภาพที่ 7 จากการศึกษาการชะล้างดินเพื่อทำการชะแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในดินพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume ปริมาณแคดเมียมที่ชะออกมาก็เพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ การทดลองครั้งนี้พบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.0001% ใน Pore Volume ที่ 4 และเพิ่มสูงสุด 0.2689% ใน Pore Volume ที่ 15 อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดิน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบว่าเหลือ Cd ในดิน 37.26 mg/kg ซึ่งเป็นระดับ C คือปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 16 และหลังจากการชะล้างดินด้วย EDTA พบว่ามีความเป็นกรดอยู่ในระดับกรดอ่อนถึงเป็นกลาง (pH 6.75-6.98) โดยลดลงจากระดับด่างปานกลาง (pH 8.36)

**(2) ดินล่าง (15-30 cm.)**

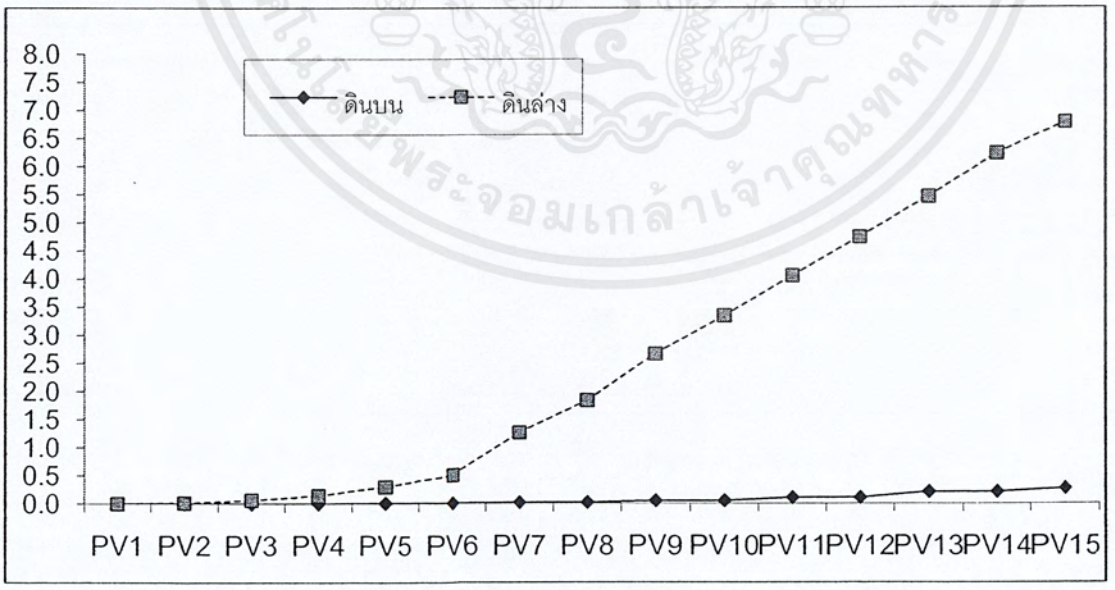
ผลของการบำบัดที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 3:1 mol (EDTA:Cd) เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 13 และภาพที่ 7 จากการศึกษาการทดลองการชะล้างดินเพื่อกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นในระดับดีเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume พบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.0001% ใน Pore Volume ที่ 1 และเพิ่มสูงสุด 6.7786% ใน Pore Volume ที่ 15 พบว่าเหลือ Cd ในดิน 86.79 mg/kg ซึ่งเป็นระดับ C คือปริมาณที่พบในดินทั่วไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 16 และพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังนั้นถ้าเพิ่มจำนวนครั้งการชะล้างมีโอกาสที่จะกำจัด Cd ออกจากดินได้มากขึ้น และหลังจากการชะล้างดินด้วย EDTA พบว่ามีความเป็นกรดอยู่ในระดับกรดอ่อน (pH 6.76-6.95) โดยลดลงจากระดับด่างปานกลาง (pH 8.40)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 3 โดยใช้น้ำยาสกัด EDTA

| Pore Volume | Removal % | |
|---|---|---|
| | ชนิดดิน (จุดที่3) | |
| | ดิน บน 0-15 cm. | ดิน ล่าง 15-30 cm. |
| 1 | 0.0000 i | 0.0001 h |
| 2 | 0.0000 i | 0.0161 h |
| 3 | 0.0001 i | 0.0653 h |
| 4 | 0.0001 i | 0.1466 h |
| 5 | 0.0086 hi | 0.3087 h |
| 6 | 0.0086 h | 0.5107 h |
| 7 | 0.0221 g | 1.2682 g |
| 8 | 0.0221 g | 1.8326 g |
| 9 | 0.0487 f | 2.6663 f |
| 10 | 0.0487 ef | 3.3391 e |
| 11 | 0.1058 de | 4.0481 d |
| 12 | 0.1058 cd | 4.7399 c |
| 13 | 0.2125 bc | 5.4536 b |
| 14 | 0.2125 ab | 6.2173 a |
| 15 | 0.2689 a | 6.7786 a |

หมายเหตุ :ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT




ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 โดยใช้ EDTA ปริมาณความเข้มข้น 3:1 mol(EDTA:Cd)ในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.4 ดินจุดที่ 4 (ห่างจากลำห้วยแม่ตาว ประมาณ 100 เมตร, จุดดินอ้างอิง)**

**(1) ดินบน (0-15 cm.)**

จากผลของการทดลองการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 3:1 mol (EDTA:Cd) เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 14 และภาพที่ 8 จากการศึกษาการชะล้างดินเพื่อทำการชะแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในดินพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume ปริมาณแคดเมียมที่ชะออกมาก็เพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ การทดลองครั้งนี้พบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.0001% ใน Pore Volume ที่ 2 และเพิ่มสูงสุด 0.0222% ใน Pore Volume ที่ 15 อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดิน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบว่าเหลือ Cd ในดิน 4.56 mg/kg ซึ่งเป็นระดับ A คือปริมาณที่พบในดินทั่วไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 16 และหลังจากการชะล้างดินด้วย EDTA พบว่ามีความเป็นกรดอยู่ในระดับกรดอ่อน (pH 6.70-6.88) โดยลดลงจากระดับด่างอ่อน (pH 7.14)

**(2) ดินล่าง (15-30 cm.)**

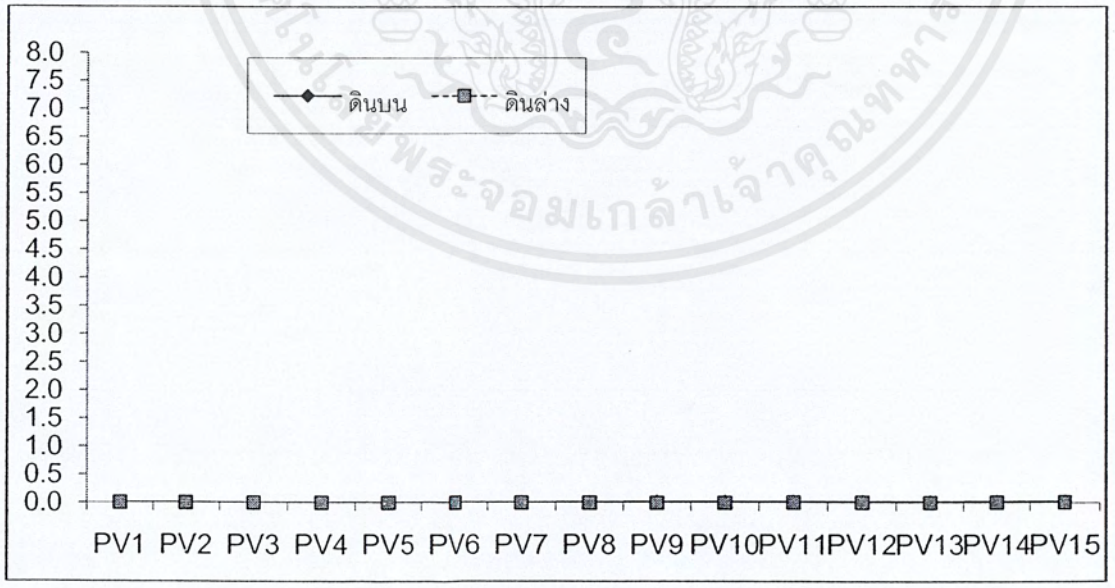
ผลของการบำบัดที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ EDTA ปริมาณความเข้มข้น 3:1 mol (EDTA:Cd) เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 14 และภาพที่ 8 จากการศึกษาการทดลองการชะล้างดินเพื่อกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume พบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.0001% ใน Pore Volume ที่ 7 และเพิ่มสูงสุด 0.0105% ใน Pore Volume ที่ 15 พบว่าเหลือ Cd ในดิน 3.73 mg/kg ซึ่งเป็นระดับ A คือปริมาณที่พบในดินทั่วไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 16 และพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังนั้นถ้าเพิ่มจำนวนครั้งการชะล้างมีโอกาสที่จะกำจัด Cd ออกจากดินได้มากขึ้น และหลังจากการชะล้างดินด้วย EDTA พบว่ามีความเป็นกรดอยู่ในระดับกรดอ่อน(pH 6.52-6.77) จากระดับ (pH 6.85) ก่อนการชะล้างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 4 โดยใช้ น้ำยาสกัด EDTA

| Pore Volume | Removal % | |
|---|---|---|
| | ชนิดดิน (จุดที่4) | |
| | ดิน บน 0-15 cm. | ดิน ล่าง 15-30 cm. |
| 1 | 0.0000 j | 0.0000 d |
| 2 | 0.0001 j | 0.0000 d |
| 3 | 0.0001 j | 0.0000 d |
| 4 | 0.0007 ij | 0.0000 d |
| 5 | 0.0018 hi | 0.0000 d |
| 6 | 0.0029 h | 0.0000 d |
| 7 | 0.0068 g | 0.0001 d |
| 8 | 0.0116 f | 0.0005 d |
| 9 | 0.0148 e | 0.0015 d |
| 10 | 0.0157 de | 0.0025 d |
| 11 | 0.0170 cd | 0.0034 c |
| 12 | 0.0181 bc | 0.0062 bc |
| 13 | 0.0194 b | 0.0074 ab |
| 14 | 0.0209 a | 0.0085 ab |
| 15 | 0.0222 a | 0.0105 a |

หมายเหตุ :ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT




ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 4 โดยใช้ EDTA ปริมาณความเข้มข้น 3:1 mol(EDTA:Cd)ในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้ง 4 จุด ในการพิจารณาระดับการปนเปื้อน

| Soil | Dept (cm.) | ระดับการปนเปื้อน | | |
|---|---|---|---|---|
| | | A* | B | C |
| Soil - 1 | 0-15 | ≤17.06 | 17.07-20 | ≥20 |
| | 15-30 | ≤5.90 | 5.91-20 | ≥20 |
| Soil - 2 | 0-15 | ≤13.41 | 13.42-20 | ≥20 |
| | 15-30 | ≤3.90 | 3.91-20 | ≥20 |
| Soil - 3 | 0-15 | ≤8.07 | 8.08-20 | ≥20 |
| | 15-30 | ≤6.52 | 6.53-20 | ≥20 |
| Soil - 4 | 0-15 | ≤9.38 | 9.39-20 | ≥20 |
| | 15-30 | ≤8.50 | 8.51-20 | ≥20 |

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

ดัดแปลงจาก Forster (1994) B = ปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง

C = ปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด

ตารางที่ 16 ปริมาณแคดเมียมในดินที่เหลือหลังผ่านการบำบัดโดยเทคนิคการชะล้างดิน

| Soil | Dept (cm.) | Cd ที่เริ่มต้น($mg/kg^{-1}$) | Cd remained in soil ($mg/kg^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| Soil - 1 | 0-15 | 71.00 | 67.23 (C) |
| | 15-30 | 131.00 | 125.55 (C) |
| Soil - 2 | 0-15 | 32.50 | 24.90 (C) |
| | 15-30 | 4.00 | 3.72 (A) |
| Soil - 3 | 0-15 | 38.50 | 37.26 (C) |
| | 15-30 | 94.00 | 86.79 (C) |
| Soil - 4 | 0-15 | 5.00 | 4.56 (A) |
| | 15-30 | 4.00 | 3.73 (A) |

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรใน ( ) แสดงถึงปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวังตามมาตรฐานระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอแลนด์ ($20\ mg/kg^{-1}$)

2) A = ปริมาณที่พบในดินทั่วไป

B = ปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง

C = ปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) หลังผ่านการบำบัดโดยเทคนิคการชะล้างดิน

| ชนิดดิน | | ค่า pH เริ่มต้น | ค่า pH หลังจากบำบัด |
|---|---|---|---|
| 1 บน | Rep 1 | 7.56 | 6.59 |
| | Rep 2 | 7.56 | 6.79 |
| | Rep 3 | 7.56 | 6.54 |
| | Rep 4 | 7.56 | 6.82 |
| 1 ล่าง | Rep 1 | 8.23 | 6.89 |
| | Rep 2 | 8.23 | 7.02 |
| | Rep 3 | 8.23 | 6.85 |
| | Rep 4 | 8.23 | 6.97 |
| 2 บน | Rep 1 | 7.57 | 6.88 |
| | Rep 2 | 7.57 | 7.01 |
| | Rep 3 | 7.57 | 6.87 |
| | Rep 4 | 7.57 | 6.83 |
| 2 ล่าง | Rep 1 | 7.7 | 6.89 |
| | Rep 2 | 7.7 | 6.87 |
| | Rep 3 | 7.7 | 7.03 |
| | Rep 4 | 7.7 | 6.88 |
| 3 บน | Rep 1 | 8.36 | 6.75 |
| | Rep 2 | 8.36 | 6.85 |
| | Rep 3 | 8.36 | 6.75 |
| | Rep 4 | 8.36 | 6.98 |
| 3 ล่าง | Rep 1 | 8.4 | 6.89 |
| | Rep 2 | 8.4 | 6.95 |
| | Rep 3 | 8.4 | 6.88 |
| | Rep 4 | 8.4 | 6.76 |
| 4 บน | Rep 1 | 7.14 | 6.7 |
| | Rep 2 | 7.14 | 6.7 |
| | Rep 3 | 7.14 | 6.89 |
| | Rep 4 | 7.14 | 6.88 |
| 4 ล่าง | Rep 1 | 6.85 | 6.6 |
| | Rep 2 | 6.85 | 6.52 |
| | Rep 3 | 6.85 | 6.77 |
| | Rep 4 | 6.85 | 6.64 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการบำบัดดินที่ปนเปื้อน Cd โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดในดินทั้ง 4 จุด พบว่า ดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง, ดินร่วนเหนียว และดินร่วน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินทั้ง 4 จุด อยู่ในช่วงด่างปานกลางถึงเป็นกลาง และดินบางจุดมีค่าความเป็นกรดอ่อนเล็กน้อย ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) ของดินทั้ง 4 จุดมีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (1.32-3.51%) ส่วนค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของดินทั้ง 4 จุดมีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลาง (5.62-17.55 me/100 g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable base) ของดินทั้ง 4 จุดนั้น Ca มีค่าสูงถึงสูงมาก (14.20-58.55 me/100 g soil) Mg มีค่าสูงมาก (3.50-6.80 me/100 g soil) K มีค่าสูง (0.52-2.38 me/100 g soil) และ Na มีค่าต่ำ (0.13-0.29 me/100 g soil) และค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) ของดินทั้ง 4 จุดนั้นมีค่าสูงถึงสูงมาก (177-633%) P ที่เป็นประโยชน์ในดินทั้ง 4 จุดนั้นอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง (7.43-12.77 $mg/kg^{-1}$ ) ส่วนปริมาณ Cd ทั้งหมดพบว่าจุดที่ 1 จุดที่ 2 และจุดที่ 3 อยู่ในระดับที่พบมากโดยพบว่าดินบนมีค่า 67.23 , 24.29 และ 37.26 $mg/kg^{-1}$ ตามลำดับส่วนจุดที่ 4 เป็นดินที่ไม่ปนเปื้อน Cd ในดินบนเพียง 4.56 $mg/kg^{-1}$เท่านั้น ปริมาณ Cd ทั้งหมดที่อยู่ในดินจุดที่ 1 และ 3 มีปริมาณ Cd มากกว่าจุดที่ 2 และ 4 หลายเท่า

จากการทดลองการบำบัดดินที่ปนเปื้อน Cd โดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 3:1 mol (EDTA:Cd) ในการสกัดแคดเมียมออกจากดิน พบว่าดินในจุดที่ 1 (ดินบริเวณแปลงนา ติดลำห้วยแม่ตาว)ในดินบนสามารถสกัด Cd ออกมาได้ 2.6760% หลังจากการชะล้างดิน Cd ออกจากดินพบว่าในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 67.23 mg/kg ซึ่งปริมาณ Cd ที่พบเกินมาตรฐานควรได้รับการชะล้างดิน (C) และในดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 7.1394% หลังจากการชะล้างดิน Cd ออกจากดินพบว่าในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 125.55 mg/kg ซึ่งมีปริมาณ Cd ที่พบเกินมาตรฐานควรได้รับการชะล้างดิน (C) และหลังจากการชะล้างดินด้วย EDTA พบว่ามีความเป็นกรดอยู่ในระดับกรดอ่อนถึงเป็นกลาง (pH 6.54-7.02) โดยลดลงจากระดับด่างปานกลาง (pH 7.56-8.23)

ในกรณีของจุดที่ 2 จากการทดลองการบำบัดดินที่ปนเปื้อน Cd โดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 3:1 mol (EDTA:Cd) พบว่าดินในจุดที่ 2 (ดินบริเวณแปลงอ้อย)ในดินบนสามารถสกัด Cd ออกมาได้ 2.2708% หลังจากการชะล้างดิน Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 24.90 mg/kg ซึ่งปริมาณ Cd ที่พบเกินมาตรฐานควรได้รับการชะล้างดิน (C) และในดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 0.0111% หลังจากการชะล้างดิน Cd ออกจากดินพบว่า ในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 3.72 mg/kg ซึ่งมีปริมาณ Cd ที่พบได้ในดินทั่วไปไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด (A) และหลังจากการชะล้างดินด้วย EDTA พบว่ามีความเป็นกรดอยู่ในระดับกรดอ่อนถึงเป็นกลาง (pH 6.83-7.03) โดยลดลงจากระดับด่างปานกลาง (pH 7.57-7.70)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในจุดที่ 3 จากการทดลองการบำบัดดินที่ปนเปื้อน Cd โดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 3:1 mol (EDTA:Cd) ในการสกัดแคดเมียมออกจากดินพบว่าดินจุดที่ 3 (ดินบริเวณหมู่บ้านพะเด๊ะ)ในดินบนสามารถสกัด Cd ออกมาได้ 0.2689% หลังจากการชะล้างดิน Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 37.26 mg/kg ซึ่งปริมาณ Cd ที่พบเกินมาตรฐานควรได้รับการชะล้างดิน (C) และในดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 6.786% หลังจากการบำบัดในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 86.79 mg/kg ซึ่งมีปริมาณ Cd ที่พบเกินมาตรฐานควรได้รับการชะล้างดิน (C) และหลังจากการชะล้างดินด้วย EDTA พบว่ามีความเป็นกรดอยู่ในระดับกรดอ่อนถึงเป็นกลาง (pH 6.75-6.98) โดยลดลงจากระดับด่างปานกลาง (pH 8.36-8.40)

ในจุดที่ 4 จากการทดลองการบำบัดดินที่ปนเปื้อน Cd โดยใช้ EDTA ความ3:1 mol (EDTA:Cd) พบว่าดินในจุดที่ 4 (ห่างจากลำห้วยแม่ตาว ประมาณ 100 เมตร, จุดดินอ้างอิง)ในดินบนสามารถสกัด Cd ออกมาได้ 0.0222% หลังจากการชะล้างดิน Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 4.56 mg/kg ซึ่งปริมาณ Cd ที่พบได้ในดินทั่วไปไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด (A) และในดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 0.0105% หลังจากการชะล้างดิน ในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 3.73 mg/kg ซึ่งมีปริมาณ Cd ที่พบได้ในดินทั่วไปไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด (A) และหลังจากการชะล้างดินด้วย EDTA พบว่ามีความเป็นกรดอยู่ในระดับกรดอ่อน (pH 6.52-6.88) โดยลดลงจากระดับกรดอ่อนถึงปานกลาง (pH 6.85-7.14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง

กรมแผนที่ทหาร. 2522. **แผนที่แสดงอำเภอแม่สอด.**

จรัญ เค้าหัน.2551. **การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดแคดเมียมออกจากดินด้วยเทคนิคการล้างดินโดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

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

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

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.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สุมิตรา ภู่วโรดม. 2546. **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาวิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ

เอกภพ เกื้อมณี. 2552. **การสกัดแคดเมียม(Cd)ออกจากดินด้วยเทคนิคการชะล้างดิน(Soil Flushing) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Allen.,H , Huang.,C,Bailey.,G and Bower.,A. 1994. **Metel Speciation and Contamination of soil.** Lewis Publishers an imprint of CRC Press , United States of America.

Hwang,S.S., Park, J.S., and Namkoong , W., 2007. Ultrasonic-Assisted Extraction to Release Heavy Metals from Contaminated Soil. **J. Ind. Eng. Chem.,**Vol 13,No.4,650-656

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 1 ความลึก 0-15 cm.

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 235 | 0.001 | 1 | 30 | 0.0001 |
| 2 | 1 | 2 | 235 | 0.001 | 1 | 30 | 0.0001 |
| 3 | 1 | 3 | 235 | 0.001 | 1 | 30 | 0.0001 |
| 4 | 1 | 4 | 235 | 0.001 | 1 | 30 | 0.0001 |
| 5 | 2 | 1 | 235 | 0.001 | 1 | 30 | 0.0001 |
| 6 | 2 | 2 | 235 | 0.001 | 1 | 30 | 0.0001 |
| 7 | 2 | 3 | 235 | 0.001 | 1 | 30 | 0.0001 |
| 8 | 2 | 4 | 235 | 0.001 | 1 | 30 | 0.0001 |
| 9 | 3 | 1 | 235 | 0.003 | 1 | 30 | 0.0004 |
| 10 | 3 | 2 | 235 | 0.005 | 1 | 30 | 0.0006 |
| 11 | 3 | 3 | 235 | 0.001 | 1 | 30 | 0.0001 |
| 12 | 3 | 4 | 235 | 0.003 | 1 | 30 | 0.0004 |
| 13 | 4 | 1 | 235 | 0.194 | 1 | 30 | 0.0248 |
| 14 | 4 | 2 | 235 | 0.188 | 1 | 30 | 0.0240 |
| 15 | 4 | 3 | 235 | 0.211 | 1 | 30 | 0.0269 |
| 16 | 4 | 4 | 235 | 0.28 | 1 | 30 | 0.0357 |
| 17 | 5 | 1 | 235 | 0.211 | 10 | 30 | 0.2694 |
| 18 | 5 | 2 | 235 | 1.841 | 1 | 30 | 0.2350 |
| 19 | 5 | 3 | 235 | 1.807 | 1 | 30 | 0.2307 |
| 20 | 5 | 4 | 235 | 0.255 | 10 | 30 | 0.3255 |
| 21 | 6 | 1 | 235 | 0.641 | 10 | 30 | 0.8183 |
| 22 | 6 | 2 | 235 | 0.77 | 10 | 30 | 0.9830 |
| 23 | 6 | 3 | 235 | 0.729 | 10 | 30 | 0.9306 |
| 24 | 6 | 4 | 235 | 0.632 | 10 | 30 | 0.8068 |
| 25 | 7 | 1 | 235 | 0.689 | 10 | 30 | 0.8796 |
| 26 | 7 | 2 | 235 | 0.735 | 10 | 30 | 0.9383 |
| 27 | 7 | 3 | 235 | 0.749 | 10 | 30 | 0.9562 |
| 28 | 7 | 4 | 235 | 0.742 | 10 | 30 | 0.9472 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | 8 | 1 | 235 | 0.277 | 10 | 30 | 0.3536 |
| 30 | 8 | 2 | 235 | 0.337 | 10 | 30 | 0.4302 |
| 31 | 8 | 3 | 235 | 0.342 | 10 | 30 | 0.4366 |
| 32 | 8 | 4 | 235 | 0.252 | 10 | 30 | 0.3217 |
| 33 | 9 | 1 | 235 | 0.323 | 10 | 30 | 0.4123 |
| 34 | 9 | 2 | 235 | 0.399 | 10 | 30 | 0.5094 |
| 35 | 9 | 3 | 235 | 0.291 | 10 | 30 | 0.3715 |
| 36 | 9 | 4 | 235 | 0.349 | 10 | 30 | 0.4455 |
| 37 | 10 | 1 | 235 | 1.124 | 1 | 30 | 0.1435 |
| 38 | 10 | 2 | 235 | 1.108 | 1 | 30 | 0.1414 |
| 39 | 10 | 3 | 235 | 0.947 | 1 | 30 | 0.1209 |
| 40 | 10 | 4 | 235 | 0.956 | 1 | 30 | 0.1220 |
| 41 | 11 | 1 | 235 | 1.148 | 1 | 30 | 0.1466 |
| 42 | 11 | 2 | 235 | 0.755 | 1 | 30 | 0.0964 |
| 43 | 11 | 3 | 235 | 0.941 | 1 | 30 | 0.1201 |
| 44 | 11 | 4 | 235 | 0.961 | 1 | 30 | 0.1227 |
| 45 | 12 | 1 | 235 | 1.148 | 1 | 30 | 0.1466 |
| 46 | 12 | 2 | 235 | 1.298 | 1 | 30 | 0.1657 |
| 47 | 12 | 3 | 235 | 1.498 | 1 | 30 | 0.1912 |
| 48 | 12 | 4 | 235 | 1.346 | 1 | 30 | 0.1718 |
| 49 | 13 | 1 | 235 | 1.102 | 1 | 30 | 0.1407 |
| 50 | 13 | 2 | 235 | 1.148 | 1 | 30 | 0.1466 |
| 51 | 13 | 3 | 235 | 1.028 | 1 | 30 | 0.1312 |
| 52 | 13 | 4 | 235 | 1.276 | 1 | 30 | 0.1629 |
| 53 | 14 | 1 | 235 | 1.47 | 1 | 30 | 0.1877 |
| 54 | 14 | 2 | 235 | 1.106 | 1 | 30 | 0.1412 |
| 55 | 14 | 3 | 235 | 1.105 | 1 | 30 | 0.1411 |
| 56 | 14 | 4 | 235 | 1.229 | 1 | 30 | 0.1569 |
| 57 | 15 | 1 | 235 | 1.319 | 1 | 30 | 0.1684 |
| 58 | 15 | 2 | 235 | 1.014 | 1 | 30 | 0.1294 |
| 59 | 15 | 3 | 235 | 0.915 | 1 | 30 | 0.1168 |
| 60 | 15 | 4 | 235 | 1.164 | 1 | 30 | 0.1486 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 1 ความลึก 15-30 cm.

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 61 | 1 | 1 | 283 | 0.103 | 1 | 25 | 0.0091 |
| 62 | 1 | 2 | 283 | 0.139 | 1 | 25 | 0.0123 |
| 63 | 1 | 3 | 283 | 0.129 | 1 | 25 | 0.0114 |
| 64 | 1 | 4 | 283 | 0.113 | 1 | 25 | 0.0100 |
| 65 | 2 | 1 | 283 | 0.008 | 1 | 25 | 0.0007 |
| 66 | 2 | 2 | 283 | 0.007 | 1 | 25 | 0.0006 |
| 67 | 2 | 3 | 283 | 0.006 | 1 | 25 | 0.0005 |
| 68 | 2 | 4 | 283 | 0.007 | 1 | 25 | 0.0006 |
| 69 | 3 | 1 | 283 | 0.016 | 1 | 25 | 0.0014 |
| 70 | 3 | 2 | 283 | 0.014 | 1 | 25 | 0.0012 |
| 71 | 3 | 3 | 283 | 0.017 | 1 | 25 | 0.0015 |
| 72 | 3 | 4 | 283 | 0.016 | 1 | 25 | 0.0014 |
| 73 | 4 | 1 | 283 | 1.354 | 1 | 25 | 0.1196 |
| 74 | 4 | 2 | 283 | 1.258 | 1 | 25 | 0.1111 |
| 75 | 4 | 3 | 283 | 1.779 | 1 | 25 | 0.1572 |
| 76 | 4 | 4 | 283 | 1.617 | 1 | 25 | 0.1428 |
| 77 | 5 | 1 | 283 | 0.795 | 10 | 25 | 0.7023 |
| 78 | 5 | 2 | 283 | 0.783 | 10 | 25 | 0.6917 |
| 79 | 5 | 3 | 283 | 0.955 | 10 | 25 | 0.8436 |
| 80 | 5 | 4 | 283 | 0.71 | 10 | 25 | 0.6272 |
| 81 | 6 | 1 | 283 | 0.26 | 10 | 25 | 0.2297 |
| 82 | 6 | 2 | 283 | 0.297 | 10 | 25 | 0.2624 |
| 83 | 6 | 3 | 283 | 0.253 | 10 | 25 | 0.2235 |
| 84 | 6 | 4 | 283 | 0.252 | 10 | 25 | 0.2226 |
| 85 | 7 | 1 | 283 | 0.275 | 10 | 25 | 0.2429 |
| 86 | 7 | 2 | 283 | 0.217 | 10 | 25 | 0.1917 |
| 87 | 7 | 3 | 283 | 0.288 | 10 | 25 | 0.2544 |
| 88 | 7 | 4 | 283 | 0.253 | 10 | 25 | 0.2235 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 89 | 8 | 1 | 283 | 0.333 | 10 | 25 | 0.2942 |
| 90 | 8 | 2 | 283 | 0.296 | 10 | 25 | 0.2615 |
| 91 | 8 | 3 | 283 | 0.307 | 10 | 25 | 0.2712 |
| 92 | 8 | 4 | 283 | 0.295 | 10 | 25 | 0.2606 |
| 93 | 9 | 1 | 283 | 0.269 | 10 | 25 | 0.2376 |
| 94 | 9 | 2 | 283 | 0.197 | 10 | 25 | 0.1740 |
| 95 | 9 | 3 | 283 | 0.215 | 10 | 25 | 0.1899 |
| 96 | 9 | 4 | 283 | 0.212 | 10 | 25 | 0.1873 |
| 97 | 10 | 1 | 283 | 0.412 | 10 | 25 | 0.3640 |
| 98 | 10 | 2 | 283 | 0.374 | 10 | 25 | 0.3304 |
| 99 | 10 | 3 | 283 | 0.394 | 10 | 25 | 0.3481 |
| 100 | 10 | 4 | 283 | 0.376 | 10 | 25 | 0.3322 |
| 101 | 11 | 1 | 283 | 0.259 | 10 | 25 | 0.2288 |
| 102 | 11 | 2 | 283 | 0.266 | 10 | 25 | 0.2350 |
| 103 | 11 | 3 | 283 | 0.232 | 10 | 25 | 0.2049 |
| 104 | 11 | 4 | 283 | 0.23 | 10 | 25 | 0.2032 |
| 105 | 12 | 1 | 283 | 0.291 | 10 | 25 | 0.2571 |
| 106 | 12 | 2 | 283 | 0.278 | 10 | 25 | 0.2456 |
| 107 | 12 | 3 | 283 | 0.238 | 10 | 25 | 0.2102 |
| 108 | 12 | 4 | 283 | 0.296 | 10 | 25 | 0.2615 |
| 109 | 13 | 1 | 283 | 0.284 | 10 | 25 | 0.2509 |
| 110 | 13 | 2 | 283 | 0.291 | 10 | 25 | 0.2571 |
| 111 | 13 | 3 | 283 | 0.301 | 10 | 25 | 0.2659 |
| 112 | 13 | 4 | 283 | 0.333 | 10 | 25 | 0.2942 |
| 113 | 14 | 1 | 283 | 1.487 | 10 | 25 | 1.3136 |
| 114 | 14 | 2 | 283 | 1.39 | 10 | 25 | 1.2279 |
| 115 | 14 | 3 | 283 | 1.783 | 10 | 25 | 1.5751 |
| 116 | 14 | 4 | 283 | 1.659 | 10 | 25 | 1.4655 |
| 117 | 15 | 1 | 283 | 1.203 | 10 | 25 | 1.0627 |
| 118 | 15 | 2 | 283 | 1.719 | 10 | 25 | 1.5186 |
| 119 | 15 | 3 | 283 | 1.355 | 10 | 25 | 1.1970 |
| 120 | 15 | 4 | 283 | 1.154 | 10 | 25 | 1.0194 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 2 ความลึก 0-15 cm.

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 121 | 1 | 1 | 235 | 0.057 | 1 | 30 | 0.0073 |
| 122 | 1 | 2 | 235 | 0.059 | 1 | 30 | 0.0075 |
| 123 | 1 | 3 | 235 | 0.057 | 1 | 30 | 0.0073 |
| 124 | 1 | 4 | 235 | 0.056 | 1 | 30 | 0.0071 |
| 125 | 2 | 1 | 235 | 0.029 | 1 | 30 | 0.0037 |
| 126 | 2 | 2 | 235 | 0.037 | 1 | 30 | 0.0047 |
| 127 | 2 | 3 | 235 | 0.032 | 1 | 30 | 0.0041 |
| 128 | 2 | 4 | 235 | 0.166 | 1 | 30 | 0.0212 |
| 129 | 3 | 1 | 235 | 0.56 | 1 | 30 | 0.0715 |
| 130 | 3 | 2 | 235 | 0.63 | 1 | 30 | 0.0804 |
| 131 | 3 | 3 | 235 | 0.69 | 1 | 30 | 0.0881 |
| 132 | 3 | 4 | 235 | 0.61 | 1 | 30 | 0.0779 |
| 133 | 4 | 1 | 235 | 0.41 | 10 | 30 | 0.5234 |
| 134 | 4 | 2 | 235 | 0.594 | 10 | 30 | 0.7583 |
| 135 | 4 | 3 | 235 | 0.572 | 10 | 30 | 0.7302 |
| 136 | 4 | 4 | 235 | 0.468 | 10 | 30 | 0.5974 |
| 137 | 5 | 1 | 235 | 0.48 | 10 | 30 | 0.6128 |
| 138 | 5 | 2 | 235 | 0.387 | 10 | 30 | 0.4940 |
| 139 | 5 | 3 | 235 | 0.394 | 10 | 30 | 0.5030 |
| 140 | 5 | 4 | 235 | 0.304 | 10 | 30 | 0.3881 |
| 141 | 6 | 1 | 235 | 0.552 | 10 | 30 | 0.7047 |
| 142 | 6 | 2 | 235 | 0.48 | 10 | 30 | 0.6128 |
| 143 | 6 | 3 | 235 | 0.596 | 10 | 30 | 0.7609 |
| 144 | 6 | 4 | 235 | 0.597 | 10 | 30 | 0.7621 |
| 145 | 7 | 1 | 235 | 0.546 | 10 | 30 | 0.6970 |
| 146 | 7 | 2 | 235 | 0.696 | 10 | 30 | 0.8885 |
| 147 | 7 | 3 | 235 | 0.514 | 10 | 30 | 0.6562 |
| 148 | 7 | 4 | 235 | 0.639 | 10 | 30 | 0.8157 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 149 | 8 | 1 | 235 | 0.169 | 10 | 30 | 0.2157 |
| 150 | 8 | 2 | 235 | 0.93 | 1 | 30 | 0.1187 |
| 151 | 8 | 3 | 235 | 0.274 | 10 | 30 | 0.3498 |
| 152 | 8 | 4 | 235 | 0.97 | 1 | 30 | 0.1238 |
| 153 | 9 | 1 | 235 | 0.484 | 10 | 30 | 0.6179 |
| 154 | 9 | 2 | 235 | 0.472 | 10 | 30 | 0.6026 |
| 155 | 9 | 3 | 235 | 0.543 | 10 | 30 | 0.6932 |
| 156 | 9 | 4 | 235 | 0.547 | 10 | 30 | 0.6983 |
| 157 | 10 | 1 | 235 | 0.463 | 10 | 30 | 0.5911 |
| 158 | 10 | 2 | 235 | 0.471 | 10 | 30 | 0.6013 |
| 159 | 10 | 3 | 235 | 0.044 | 10 | 30 | 0.0562 |
| 160 | 10 | 4 | 235 | 0.432 | 10 | 30 | 0.5515 |
| 161 | 11 | 1 | 235 | 0.439 | 10 | 30 | 0.5604 |
| 162 | 11 | 2 | 235 | 1.96 | 1 | 30 | 0.2502 |
| 163 | 11 | 3 | 235 | 0.454 | 10 | 30 | 0.5796 |
| 164 | 11 | 4 | 235 | 1.93 | 1 | 30 | 0.2464 |
| 165 | 12 | 1 | 235 | 0.968 | 10 | 30 | 1.2357 |
| 166 | 12 | 2 | 235 | 0.964 | 10 | 30 | 1.2306 |
| 167 | 12 | 3 | 235 | 0.643 | 10 | 30 | 0.8209 |
| 168 | 12 | 4 | 235 | 0.795 | 10 | 30 | 1.0149 |
| 169 | 13 | 1 | 235 | 0.645 | 10 | 30 | 0.8234 |
| 170 | 13 | 2 | 235 | 0.672 | 10 | 30 | 0.8579 |
| 171 | 13 | 3 | 235 | 0.622 | 10 | 30 | 0.7940 |
| 172 | 13 | 4 | 235 | 0.616 | 10 | 30 | 0.7864 |
| 173 | 14 | 1 | 235 | 0.304 | 10 | 30 | 0.3881 |
| 174 | 14 | 2 | 235 | 0.308 | 10 | 30 | 0.3932 |
| 175 | 14 | 3 | 235 | 0.266 | 10 | 30 | 0.3396 |
| 176 | 14 | 4 | 235 | 0.353 | 10 | 30 | 0.4506 |
| 177 | 15 | 1 | 235 | 0.368 | 10 | 30 | 0.4698 |
| 178 | 15 | 2 | 235 | 0.306 | 10 | 30 | 0.3906 |
| 179 | 15 | 3 | 235 | 0.24 | 10 | 30 | 0.3064 |
| 180 | 15 | 4 | 235 | 0.257 | 10 | 30 | 0.3281 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 2 ความลึก 15-30 cm.

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 181 | 1 | 1 | 283 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 182 | 1 | 2 | 283 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 183 | 1 | 3 | 283 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 184 | 1 | 4 | 283 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 185 | 2 | 1 | 283 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 186 | 2 | 2 | 283 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 187 | 2 | 3 | 283 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 188 | 2 | 4 | 283 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 189 | 3 | 1 | 283 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 190 | 3 | 2 | 283 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 191 | 3 | 3 | 283 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 192 | 3 | 4 | 283 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 193 | 4 | 1 | 283 | 0.007 | 1 | 20 | 0.0005 |
| 194 | 4 | 2 | 283 | 0.009 | 1 | 20 | 0.0006 |
| 195 | 4 | 3 | 283 | 0.01 | 1 | 20 | 0.0007 |
| 196 | 4 | 4 | 283 | 0.008 | 1 | 20 | 0.0006 |
| 197 | 5 | 1 | 283 | 0.076 | 1 | 20 | 0.0054 |
| 198 | 5 | 2 | 283 | 0.033 | 1 | 20 | 0.0023 |
| 199 | 5 | 3 | 283 | 0.092 | 1 | 20 | 0.0065 |
| 200 | 5 | 4 | 283 | 0.986 | 1 | 20 | 0.0697 |
| 201 | 6 | 1 | 283 | 0.343 | 1 | 20 | 0.0242 |
| 202 | 6 | 2 | 283 | 0.313 | 1 | 20 | 0.0221 |
| 203 | 6 | 3 | 283 | 0.162 | 1 | 20 | 0.0114 |
| 204 | 6 | 4 | 283 | 0.213 | 1 | 20 | 0.0151 |
| 205 | 7 | 1 | 283 | 0.527 | 1 | 20 | 0.0372 |
| 206 | 7 | 2 | 283 | 0.368 | 1 | 20 | 0.0260 |
| 207 | 7 | 3 | 283 | 0.251 | 1 | 20 | 0.0177 |
| 208 | 7 | 4 | 283 | 0.38 | 1 | 20 | 0.0269 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 209 | 8 | 1 | 283 | 0.292 | 1 | 20 | 0.0206 |
| 210 | 8 | 2 | 283 | 0.275 | 1 | 20 | 0.0194 |
| 211 | 8 | 3 | 283 | 0.362 | 1 | 20 | 0.0256 |
| 212 | 8 | 4 | 283 | 0.309 | 1 | 20 | 0.0218 |
| 213 | 9 | 1 | 283 | 0.52 | 1 | 20 | 0.0367 |
| 214 | 9 | 2 | 283 | 0.635 | 1 | 20 | 0.0449 |
| 215 | 9 | 3 | 283 | 0.455 | 1 | 20 | 0.0322 |
| 216 | 9 | 4 | 283 | 0.645 | 1 | 20 | 0.0456 |
| 217 | 10 | 1 | 283 | 0.62 | 1 | 20 | 0.0438 |
| 218 | 10 | 2 | 283 | 0.396 | 1 | 20 | 0.0280 |
| 219 | 10 | 3 | 283 | 0.46 | 1 | 20 | 0.0325 |
| 220 | 10 | 4 | 283 | 0.455 | 1 | 20 | 0.0322 |
| 221 | 11 | 1 | 283 | 0.232 | 1 | 20 | 0.0164 |
| 222 | 11 | 2 | 283 | 0.333 | 1 | 20 | 0.0235 |
| 223 | 11 | 3 | 283 | 0.446 | 1 | 20 | 0.0315 |
| 224 | 11 | 4 | 283 | 0.369 | 1 | 20 | 0.0261 |
| 225 | 12 | 1 | 283 | 0.147 | 1 | 20 | 0.0104 |
| 226 | 12 | 2 | 283 | 0.342 | 1 | 20 | 0.0242 |
| 227 | 12 | 3 | 283 | 0.195 | 1 | 20 | 0.0138 |
| 228 | 12 | 4 | 283 | 0.273 | 1 | 20 | 0.0193 |
| 229 | 13 | 1 | 283 | 0.215 | 1 | 20 | 0.0152 |
| 230 | 13 | 2 | 283 | 0.363 | 1 | 20 | 0.0257 |
| 231 | 13 | 3 | 283 | 0.32 | 1 | 20 | 0.0226 |
| 232 | 13 | 4 | 283 | 0.321 | 1 | 20 | 0.0227 |
| 233 | 14 | 1 | 283 | 0.317 | 1 | 20 | 0.0224 |
| 234 | 14 | 2 | 283 | 0.363 | 1 | 20 | 0.0257 |
| 235 | 14 | 3 | 283 | 0.385 | 1 | 20 | 0.0272 |
| 236 | 14 | 4 | 283 | 0.521 | 1 | 20 | 0.0368 |
| 237 | 15 | 1 | 283 | 0.419 | 1 | 20 | 0.0296 |
| 238 | 15 | 2 | 283 | 0.362 | 1 | 20 | 0.0256 |
| 239 | 15 | 3 | 283 | 0.267 | 1 | 20 | 0.0189 |
| 240 | 15 | 4 | 283 | 0.327 | 1 | 20 | 0.0231 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 3 ความลึก 0-15 cm.

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 241 | 1 | 1 | 306 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 242 | 1 | 2 | 306 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 243 | 1 | 3 | 306 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 244 | 1 | 4 | 306 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 245 | 2 | 1 | 306 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 246 | 2 | 2 | 306 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 247 | 2 | 3 | 306 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 248 | 2 | 4 | 306 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 249 | 3 | 1 | 306 | 0.33 | 1 | 20 | 0.0216 |
| 250 | 3 | 2 | 306 | 0.326 | 1 | 20 | 0.0213 |
| 251 | 3 | 3 | 306 | 0.329 | 1 | 20 | 0.0215 |
| 252 | 3 | 4 | 306 | 0.323 | 1 | 20 | 0.0211 |
| 253 | 4 | 1 | 306 | 0.316 | 1 | 20 | 0.0207 |
| 254 | 4 | 2 | 306 | 0.696 | 1 | 20 | 0.0455 |
| 255 | 4 | 3 | 306 | 0.539 | 1 | 20 | 0.0352 |
| 256 | 4 | 4 | 306 | 0.628 | 1 | 20 | 0.0410 |
| 257 | 5 | 1 | 306 | 1.103 | 1 | 20 | 0.0721 |
| 258 | 5 | 2 | 306 | 0.86 | 1 | 20 | 0.0562 |
| 259 | 5 | 3 | 306 | 1.149 | 1 | 20 | 0.0751 |
| 260 | 5 | 4 | 306 | 1.058 | 1 | 20 | 0.0692 |
| 261 | 6 | 1 | 306 | 1.584 | 1 | 20 | 0.1035 |
| 262 | 6 | 2 | 306 | 0.398 | 10 | 20 | 0.2601 |
| 263 | 6 | 3 | 306 | 1.788 | 1 | 20 | 0.1169 |
| 264 | 6 | 4 | 306 | 1.609 | 1 | 20 | 0.1052 |
| 265 | 7 | 1 | 306 | 0.567 | 10 | 20 | 0.3706 |
| 266 | 7 | 2 | 306 | 0.372 | 10 | 20 | 0.2431 |
| 267 | 7 | 3 | 306 | 0.382 | 10 | 20 | 0.2497 |
| 268 | 7 | 4 | 306 | 0.353 | 10 | 20 | 0.2307 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 269 | 8 | 1 | 306 | 1.664 | 1 | 20 | 0.1088 |
| 270 | 8 | 2 | 306 | 0.353 | 10 | 20 | 0.2307 |
| 271 | 8 | 3 | 306 | 1.797 | 1 | 20 | 0.1175 |
| 272 | 8 | 4 | 306 | 0.186 | 10 | 20 | 0.1216 |
| 273 | 9 | 1 | 306 | 0.461 | 10 | 20 | 0.3013 |
| 274 | 9 | 2 | 306 | 0.289 | 10 | 20 | 0.1889 |
| 275 | 9 | 3 | 306 | 0.228 | 10 | 20 | 0.1490 |
| 276 | 9 | 4 | 306 | 0.233 | 10 | 20 | 0.1523 |
| 277 | 10 | 1 | 306 | 1.903 | 1 | 20 | 0.1244 |
| 278 | 10 | 2 | 306 | 1.814 | 1 | 20 | 0.1186 |
| 279 | 10 | 3 | 306 | 1.624 | 1 | 20 | 0.1061 |
| 280 | 10 | 4 | 306 | 1.813 | 1 | 20 | 0.1185 |
| 281 | 11 | 1 | 306 | 0.263 | 10 | 20 | 0.1719 |
| 282 | 11 | 2 | 306 | 0.209 | 10 | 20 | 0.1366 |
| 283 | 11 | 3 | 306 | 1.867 | 1 | 20 | 0.1220 |
| 284 | 11 | 4 | 306 | 1.885 | 1 | 20 | 0.1232 |
| 285 | 12 | 1 | 306 | 1.448 | 1 | 20 | 0.0946 |
| 286 | 12 | 2 | 306 | 1.944 | 1 | 20 | 0.1271 |
| 287 | 12 | 3 | 306 | 0.176 | 10 | 20 | 0.1150 |
| 288 | 12 | 4 | 306 | 1.535 | 1 | 20 | 0.1003 |
| 289 | 13 | 1 | 306 | 0.211 | 10 | 20 | 0.1379 |
| 290 | 13 | 2 | 306 | 0.211 | 10 | 20 | 0.1379 |
| 291 | 13 | 3 | 306 | 1.868 | 1 | 20 | 0.1221 |
| 292 | 13 | 4 | 306 | 1.502 | 1 | 20 | 0.0982 |
| 293 | 14 | 1 | 306 | 0.231 | 10 | 20 | 0.1510 |
| 294 | 14 | 2 | 306 | 0.251 | 10 | 20 | 0.1641 |
| 295 | 14 | 3 | 306 | 0.326 | 10 | 20 | 0.2131 |
| 296 | 14 | 4 | 306 | 0.236 | 10 | 20 | 0.1542 |
| 297 | 15 | 1 | 306 | 0.282 | 10 | 20 | 0.1843 |
| 298 | 15 | 2 | 306 | 1.522 | 1 | 20 | 0.0995 |
| 299 | 15 | 3 | 306 | 0.417 | 10 | 20 | 0.2725 |
| 300 | 15 | 4 | 306 | 1.591 | 1 | 20 | 0.1040 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 3 ความลึก 15-30 cm.

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 301 | 1 | 1 | 351 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 302 | 1 | 2 | 351 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 303 | 1 | 3 | 351 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 304 | 1 | 4 | 351 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 305 | 2 | 1 | 351 | 0.231 | 1 | 20 | 0.0132 |
| 306 | 2 | 2 | 351 | 0.311 | 1 | 20 | 0.0177 |
| 307 | 2 | 3 | 351 | 0.217 | 1 | 20 | 0.0124 |
| 308 | 2 | 4 | 351 | 0.439 | 1 | 20 | 0.0250 |
| 309 | 3 | 1 | 351 | 0.935 | 1 | 20 | 0.0533 |
| 310 | 3 | 2 | 351 | 0.901 | 1 | 20 | 0.0513 |
| 311 | 3 | 3 | 351 | 0.911 | 1 | 20 | 0.0519 |
| 312 | 3 | 4 | 351 | 0.941 | 1 | 20 | 0.0536 |
| 313 | 4 | 1 | 351 | 1.329 | 1 | 20 | 0.0757 |
| 314 | 4 | 2 | 351 | 1.257 | 1 | 20 | 0.0716 |
| 315 | 4 | 3 | 351 | 1.338 | 1 | 20 | 0.0762 |
| 316 | 4 | 4 | 351 | 1.798 | 1 | 20 | 0.1025 |
| 317 | 5 | 1 | 351 | 0.281 | 10 | 20 | 0.1601 |
| 318 | 5 | 2 | 351 | 0.207 | 10 | 20 | 0.1179 |
| 319 | 5 | 3 | 351 | 0.213 | 10 | 20 | 0.1214 |
| 320 | 5 | 4 | 351 | 0.51 | 10 | 20 | 0.2906 |
| 321 | 6 | 1 | 351 | 0.488 | 10 | 20 | 0.2781 |
| 322 | 6 | 2 | 351 | 0.398 | 10 | 20 | 0.2268 |
| 323 | 6 | 3 | 351 | 0.331 | 10 | 20 | 0.1886 |
| 324 | 6 | 4 | 351 | 0.291 | 10 | 20 | 0.1658 |
| 325 | 7 | 1 | 351 | 1.884 | 10 | 20 | 1.0735 |
| 326 | 7 | 2 | 351 | 1.65 | 10 | 20 | 0.9402 |
| 327 | 7 | 3 | 351 | 1.071 | 10 | 20 | 0.6103 |
| 328 | 7 | 4 | 351 | 1.052 | 10 | 20 | 0.5994 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 329 | 8 | 1 | 351 | 0.893 | 10 | 20 | 0.5088 |
| 330 | 8 | 2 | 351 | 0.124 | 100 | 20 | 0.7066 |
| 331 | 8 | 3 | 351 | 0.922 | 10 | 20 | 0.5254 |
| 332 | 8 | 4 | 351 | 1.16 | 10 | 20 | 0.6610 |
| 333 | 9 | 1 | 351 | 1.952 | 10 | 20 | 1.1123 |
| 334 | 9 | 2 | 351 | 1.564 | 10 | 20 | 0.8912 |
| 335 | 9 | 3 | 351 | 1.083 | 10 | 20 | 0.6171 |
| 336 | 9 | 4 | 351 | 1.623 | 10 | 20 | 0.9248 |
| 337 | 10 | 1 | 351 | 1.268 | 10 | 20 | 0.7225 |
| 338 | 10 | 2 | 351 | 1.33 | 10 | 20 | 0.7578 |
| 339 | 10 | 3 | 351 | 1.316 | 10 | 20 | 0.7499 |
| 340 | 10 | 4 | 351 | 1.11 | 10 | 20 | 0.6325 |
| 341 | 11 | 1 | 351 | 1.979 | 10 | 20 | 1.1276 |
| 342 | 11 | 2 | 351 | 1.408 | 10 | 20 | 0.8023 |
| 343 | 11 | 3 | 351 | 0.93 | 10 | 20 | 0.5299 |
| 344 | 11 | 4 | 351 | 0.978 | 10 | 20 | 0.5573 |
| 345 | 12 | 1 | 351 | 1.405 | 10 | 20 | 0.8006 |
| 346 | 12 | 2 | 351 | 1.41 | 10 | 20 | 0.8034 |
| 347 | 12 | 3 | 351 | 1.454 | 10 | 20 | 0.8285 |
| 348 | 12 | 4 | 351 | 0.897 | 10 | 20 | 0.5111 |
| 349 | 13 | 1 | 351 | 1.287 | 10 | 20 | 0.7333 |
| 350 | 13 | 2 | 351 | 1.48 | 10 | 20 | 0.8433 |
| 351 | 13 | 3 | 351 | 1.287 | 10 | 20 | 0.7333 |
| 352 | 13 | 4 | 351 | 1.276 | 10 | 20 | 0.7271 |
| 353 | 14 | 1 | 351 | 1.472 | 10 | 20 | 0.8387 |
| 354 | 14 | 2 | 351 | 1.536 | 10 | 20 | 0.8752 |
| 355 | 14 | 3 | 351 | 1.274 | 10 | 20 | 0.7259 |
| 356 | 14 | 4 | 351 | 1.422 | 10 | 20 | 0.8103 |
| 357 | 15 | 1 | 351 | 1.338 | 10 | 20 | 0.7624 |
| 358 | 15 | 2 | 351 | 1.065 | 10 | 20 | 0.6068 |
| 359 | 15 | 3 | 351 | 0.929 | 10 | 20 | 0.5293 |
| 360 | 15 | 4 | 351 | 0.86 | 10 | 20 | 0.4900 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 4 ความลึก 0-15 cm.

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 361 | 1 | 1 | 328 | 0.019 | 1 | 20 | 0.0012 |
| 362 | 1 | 2 | 328 | 0.055 | 1 | 20 | 0.0034 |
| 363 | 1 | 3 | 328 | 0.004 | 1 | 20 | 0.0002 |
| 364 | 1 | 4 | 328 | 0.003 | 1 | 20 | 0.0002 |
| 365 | 2 | 1 | 328 | 0.032 | 1 | 20 | 0.0020 |
| 366 | 2 | 2 | 328 | 0.019 | 1 | 20 | 0.0012 |
| 367 | 2 | 3 | 328 | 0.025 | 1 | 20 | 0.0015 |
| 368 | 2 | 4 | 328 | 0.031 | 1 | 20 | 0.0019 |
| 369 | 3 | 1 | 328 | 0.026 | 1 | 20 | 0.0016 |
| 370 | 3 | 2 | 328 | 0.021 | 1 | 20 | 0.0013 |
| 371 | 3 | 3 | 328 | 0.029 | 1 | 20 | 0.0018 |
| 372 | 3 | 4 | 328 | 0.026 | 1 | 20 | 0.0016 |
| 373 | 4 | 1 | 328 | 0.146 | 1 | 20 | 0.0089 |
| 374 | 4 | 2 | 328 | 0.109 | 1 | 20 | 0.0066 |
| 375 | 4 | 3 | 328 | 0.216 | 1 | 20 | 0.0132 |
| 376 | 4 | 4 | 328 | 0.273 | 1 | 20 | 0.0166 |
| 377 | 5 | 1 | 328 | 0.291 | 1 | 20 | 0.0177 |
| 378 | 5 | 2 | 328 | 0.358 | 1 | 20 | 0.0218 |
| 379 | 5 | 3 | 328 | 0.354 | 1 | 20 | 0.0216 |
| 380 | 5 | 4 | 328 | 0.481 | 1 | 20 | 0.0293 |
| 381 | 6 | 1 | 328 | 0.488 | 1 | 20 | 0.0298 |
| 382 | 6 | 2 | 328 | 0.336 | 1 | 20 | 0.0205 |
| 383 | 6 | 3 | 328 | 0.369 | 1 | 20 | 0.0225 |
| 384 | 6 | 4 | 328 | 0.249 | 1 | 20 | 0.0152 |
| 385 | 7 | 1 | 328 | 1.365 | 1 | 20 | 0.0832 |
| 386 | 7 | 2 | 328 | 1.429 | 1 | 20 | 0.0871 |
| 387 | 7 | 3 | 328 | 0.789 | 1 | 20 | 0.0481 |
| 388 | 7 | 4 | 328 | 1.5 | 1 | 20 | 0.0915 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 389 | 8 | 1 | 328 | 1.2 | 1 | 20 | 0.0732 |
| 390 | 8 | 2 | 328 | 1.787 | 1 | 20 | 0.1090 |
| 391 | 8 | 3 | 328 | 1.463 | 1 | 20 | 0.0892 |
| 392 | 8 | 4 | 328 | 1.823 | 1 | 20 | 0.1112 |
| 393 | 9 | 1 | 328 | 0.997 | 1 | 20 | 0.0608 |
| 394 | 9 | 2 | 328 | 0.916 | 1 | 20 | 0.0559 |
| 395 | 9 | 3 | 328 | 1.249 | 1 | 20 | 0.0762 |
| 396 | 9 | 4 | 328 | 1.101 | 1 | 20 | 0.0671 |
| 397 | 10 | 1 | 328 | 0.367 | 1 | 20 | 0.0224 |
| 398 | 10 | 2 | 328 | 0.348 | 1 | 20 | 0.0212 |
| 399 | 10 | 3 | 328 | 0.222 | 1 | 20 | 0.0135 |
| 400 | 10 | 4 | 328 | 0.221 | 1 | 20 | 0.0135 |
| 401 | 11 | 1 | 328 | 0.352 | 1 | 20 | 0.0215 |
| 402 | 11 | 2 | 328 | 0.378 | 1 | 20 | 0.0230 |
| 403 | 11 | 3 | 328 | 0.375 | 1 | 20 | 0.0229 |
| 404 | 11 | 4 | 328 | 0.576 | 1 | 20 | 0.0351 |
| 405 | 12 | 1 | 328 | 0.305 | 1 | 20 | 0.0186 |
| 406 | 12 | 2 | 328 | 0.499 | 1 | 20 | 0.0304 |
| 407 | 12 | 3 | 328 | 0.308 | 1 | 20 | 0.0188 |
| 408 | 12 | 4 | 328 | 0.286 | 1 | 20 | 0.0174 |
| 409 | 13 | 1 | 328 | 0.727 | 1 | 20 | 0.0443 |
| 410 | 13 | 2 | 328 | 0.239 | 1 | 20 | 0.0146 |
| 411 | 13 | 3 | 328 | 0.555 | 1 | 20 | 0.0338 |
| 412 | 13 | 4 | 328 | 0.302 | 1 | 20 | 0.0184 |
| 413 | 14 | 1 | 328 | 0.423 | 1 | 20 | 0.0258 |
| 414 | 14 | 2 | 328 | 0.426 | 1 | 20 | 0.0260 |
| 415 | 14 | 3 | 328 | 0.605 | 1 | 20 | 0.0369 |
| 416 | 14 | 4 | 328 | 0.509 | 1 | 20 | 0.0310 |
| 417 | 15 | 1 | 328 | 0.433 | 1 | 20 | 0.0264 |
| 418 | 15 | 2 | 328 | 0.415 | 1 | 20 | 0.0253 |
| 419 | 15 | 3 | 328 | 0.428 | 1 | 20 | 0.0261 |
| 420 | 15 | 4 | 328 | 0.429 | 1 | 20 | 0.0262 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 8 แสดงความเข้มข้นของ Cd จุดที่ 4 ความลึก 15-30 cm.

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 421 | 1 | 1 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 422 | 1 | 2 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 423 | 1 | 3 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 424 | 1 | 4 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 425 | 2 | 1 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 426 | 2 | 2 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 427 | 2 | 3 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 428 | 2 | 4 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 429 | 3 | 1 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 430 | 3 | 2 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 431 | 3 | 3 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 432 | 3 | 4 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 433 | 4 | 1 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 434 | 4 | 2 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 435 | 4 | 3 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 436 | 4 | 4 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 437 | 5 | 1 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 438 | 5 | 2 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 439 | 5 | 3 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 440 | 5 | 4 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 441 | 6 | 1 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 442 | 6 | 2 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 443 | 6 | 3 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 444 | 6 | 4 | 365 | 0.001 | 1 | 20 | 0.0001 |
| 445 | 7 | 1 | 365 | 0.041 | 1 | 20 | 0.0022 |
| 446 | 7 | 2 | 365 | 0.046 | 1 | 20 | 0.0025 |
| 447 | 7 | 3 | 365 | 0.059 | 1 | 20 | 0.0032 |
| 448 | 7 | 4 | 365 | 0.058 | 1 | 20 | 0.0032 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

| Lab No. | PV | Ref | นนดิน | Conc. | Dilute | Final V | Cd mol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 449 | 8 | 1 | 365 | 0.185 | 1 | 20 | 0.0101 |
| 450 | 8 | 2 | 365 | 0.132 | 1 | 20 | 0.0072 |
| 451 | 8 | 3 | 365 | 0.229 | 1 | 20 | 0.0125 |
| 452 | 8 | 4 | 365 | 0.223 | 1 | 20 | 0.0122 |
| 453 | 9 | 1 | 365 | 0.457 | 1 | 20 | 0.0250 |
| 454 | 9 | 2 | 365 | 0.386 | 1 | 20 | 0.0212 |
| 455 | 9 | 3 | 365 | 0.479 | 1 | 20 | 0.0262 |
| 456 | 9 | 4 | 365 | 0.472 | 1 | 20 | 0.0259 |
| 457 | 10 | 1 | 365 | 0.499 | 1 | 20 | 0.0273 |
| 458 | 10 | 2 | 365 | 0.457 | 1 | 20 | 0.0250 |
| 459 | 10 | 3 | 365 | 0.453 | 1 | 20 | 0.0248 |
| 460 | 10 | 4 | 365 | 0.42 | 1 | 20 | 0.0230 |
| 461 | 11 | 1 | 365 | 0.451 | 1 | 20 | 0.0247 |
| 462 | 11 | 2 | 365 | 0.431 | 1 | 20 | 0.0236 |
| 463 | 11 | 3 | 365 | 0.421 | 1 | 20 | 0.0231 |
| 464 | 11 | 4 | 365 | 0.402 | 1 | 20 | 0.0220 |
| 465 | 12 | 1 | 365 | 0.453 | 1 | 20 | 0.0248 |
| 466 | 12 | 2 | 365 | 0.411 | 1 | 20 | 0.0225 |
| 467 | 12 | 3 | 365 | 0.397 | 1 | 20 | 0.0218 |
| 468 | 12 | 4 | 365 | 0.287 | 1 | 20 | 0.0157 |
| 469 | 13 | 1 | 365 | 0.49 | 1 | 20 | 0.0268 |
| 470 | 13 | 2 | 365 | 0.41 | 1 | 20 | 0.0225 |
| 471 | 13 | 3 | 365 | 0.629 | 1 | 20 | 0.0345 |
| 472 | 13 | 4 | 365 | 0.531 | 1 | 20 | 0.0291 |
| 473 | 14 | 1 | 365 | 0.516 | 1 | 20 | 0.0283 |
| 474 | 14 | 2 | 365 | 0.494 | 1 | 20 | 0.0271 |
| 475 | 14 | 3 | 365 | 0.533 | 1 | 20 | 0.0292 |
| 476 | 14 | 4 | 365 | 0.496 | 1 | 20 | 0.0272 |
| 477 | 15 | 1 | 365 | 1.059 | 1 | 20 | 0.0580 |
| 478 | 15 | 2 | 365 | 0.722 | 1 | 20 | 0.0396 |
| 479 | 15 | 3 | 365 | 0.897 | 1 | 20 | 0.0492 |
| 480 | 15 | 4 | 365 | 0.914 | 1 | 20 | 0.0501 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 9 แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 1 ความลึก 0-15 cm.

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 1 | 2 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 1 | 3 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 1 | 4 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 2 | 1 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 |
| 2 | 2 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 |
| 2 | 3 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 |
| 2 | 4 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 |
| 3 | 1 | 0.0004 | 0.0006 | 0.0004 |
| 3 | 2 | 0.0006 | 0.0008 | 0.0006 |
| 3 | 3 | 0.0004 | 0.0006 | 0.0004 |
| 3 | 4 | 0.0006 | 0.0008 | 0.0006 |
| 4 | 1 | 0.0248 | 0.0254 | 0.0180 |
| 4 | 2 | 0.024 | 0.0248 | 0.0176 |
| 4 | 3 | 0.0269 | 0.0275 | 0.0195 |
| 4 | 4 | 0.0357 | 0.0365 | 0.0259 |
| 5 | 1 | 0.2694 | 0.2948 | 0.2093 |
| 5 | 2 | 0.235 | 0.2598 | 0.1845 |
| 5 | 3 | 0.2307 | 0.2582 | 0.1833 |
| 5 | 4 | 0.3255 | 0.362 | 0.2570 |
| 6 | 1 | 0.8183 | 1.1131 | 0.7903 |
| 6 | 2 | 0.983 | 1.2428 | 0.8824 |
| 6 | 3 | 0.9306 | 1.1888 | 0.8440 |
| 6 | 4 | 0.8068 | 1.1688 | 0.8298 |
| 7 | 1 | 0.8796 | 1.9927 | 1.4148 |
| 7 | 2 | 0.9383 | 2.1811 | 1.5486 |
| 7 | 3 | 0.9562 | 2.145 | 1.5230 |
| 7 | 4 | 0.8472 | 2.016 | 1.4314 |
| 8 | 1 | 0.3536 | 2.3463 | 1.6659 |
| 8 | 2 | 0.4302 | 2.6113 | 1.8540 |
| 8 | 3 | 0.4366 | 2.5816 | 1.8329 |
| 8 | 4 | 0.3217 | 2.3377 | 1.6598 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ (9) ต่อ

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 1 | 0.4123 | 2.7586 | 1.9586 |
| 9 | 2 | 0.5094 | 3.1207 | 2.2157 |
| 9 | 3 | 0.3715 | 2.9531 | 2.0967 |
| 9 | 4 | 0.4455 | 2.7832 | 1.9761 |
| 10 | 1 | 0.1435 | 2.9021 | 2.0605 |
| 10 | 2 | 0.1414 | 3.2621 | 2.3161 |
| 10 | 3 | 0.1209 | 3.074 | 2.1825 |
| 10 | 4 | 0.122 | 2.9052 | 2.0627 |
| 11 | 1 | 0.1466 | 3.0487 | 2.1646 |
| 11 | 2 | 0.0964 | 3.3585 | 2.3845 |
| 11 | 3 | 0.1201 | 3.1941 | 2.2678 |
| 11 | 4 | 0.1227 | 3.0279 | 2.1498 |
| 12 | 1 | 0.1466 | 3.1953 | 2.2687 |
| 12 | 2 | 0.167 | 3.5255 | 2.5031 |
| 12 | 3 | 0.1912 | 3.3853 | 2.4036 |
| 12 | 4 | 0.1718 | 3.1997 | 2.2718 |
| 13 | 1 | 0.1407 | 3.336 | 2.3686 |
| 13 | 2 | 0.1466 | 3.6721 | 2.6072 |
| 13 | 3 | 0.1312 | 3.5165 | 2.4967 |
| 13 | 4 | 0.1629 | 3.3626 | 2.3874 |
| 14 | 1 | 0.1877 | 3.5237 | 2.5018 |
| 14 | 2 | 0.1412 | 3.8133 | 2.7074 |
| 14 | 3 | 0.1411 | 3.6576 | 2.5969 |
| 14 | 4 | 0.1569 | 3.5195 | 2.4988 |
| 15 | 1 | 0.1684 | 3.6921 | 2.6214 |
| 15 | 2 | 0.1294 | 3.9427 | 2.7993 |
| 15 | 3 | 0.1168 | 3.7744 | 2.6798 |
| 15 | 4 | 0.1486 | 3.6681 | 2.6044 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 10 แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 1 ความลึก 15-30 cm.

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0.0091 | 0.0001 | 0.0001 |
| 1 | 2 | 0.0123 | 0.0001 | 0.0001 |
| 1 | 3 | 0.0114 | 0.0001 | 0.0001 |
| 1 | 4 | 0.01 | 0.0001 | 0.0001 |
| 2 | 1 | 0.0007 | 0.0008 | 0.0010 |
| 2 | 2 | 0.0006 | 0.0007 | 0.0009 |
| 2 | 3 | 0.0005 | 0.0006 | 0.0008 |
| 2 | 4 | 0.0006 | 0.0007 | 0.0009 |
| 3 | 1 | 0.0014 | 0.0022 | 0.0029 |
| 3 | 2 | 0.0012 | 0.0019 | 0.0025 |
| 3 | 3 | 0.0015 | 0.0021 | 0.0028 |
| 3 | 4 | 0.0014 | 0.0021 | 0.0028 |
| 4 | 1 | 0.1196 | 0.1218 | 0.1596 |
| 4 | 2 | 0.1111 | 0.113 | 0.1480 |
| 4 | 3 | 0.1572 | 0.1593 | 0.2087 |
| 4 | 4 | 0.1428 | 0.1449 | 0.1898 |
| 5 | 1 | 0.7023 | 0.8241 | 1.0796 |
| 5 | 2 | 0.6917 | 0.8047 | 1.0542 |
| 5 | 3 | 0.8436 | 1.0029 | 1.3138 |
| 5 | 4 | 0.6272 | 0.7721 | 1.0115 |
| 6 | 1 | 0.2297 | 1.0538 | 1.3805 |
| 6 | 2 | 0.2624 | 1.0671 | 1.3979 |
| 6 | 3 | 0.2235 | 1.2264 | 1.6066 |
| 6 | 4 | 0.2226 | 0.9947 | 1.3031 |
| 7 | 1 | 0.2429 | 1.2967 | 1.6987 |
| 7 | 2 | 0.1917 | 1.2588 | 1.6490 |
| 7 | 3 | 0.2544 | 1.4808 | 1.9398 |
| 7 | 4 | 0.2235 | 1.2182 | 1.5958 |
| 8 | 1 | 0.2942 | 1.5909 | 2.0841 |
| 8 | 2 | 0.2615 | 1.5203 | 1.9916 |
| 8 | 3 | 0.2712 | 1.752 | 2.2951 |
| 8 | 4 | 0.2606 | 1.4788 | 1.9372 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ)

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 1 | 0.2376 | 1.8285 | 2.3953 |
| 9 | 2 | 0.174 | 1.6943 | 2.2195 |
| 9 | 3 | 0.1899 | 1.9419 | 2.5439 |
| 9 | 4 | 0.1873 | 1.6661 | 2.1826 |
| 10 | 1 | 0.364 | 2.1925 | 2.8722 |
| 10 | 2 | 0.3304 | 2.0247 | 2.6524 |
| 10 | 3 | 0.3481 | 2.29 | 2.9999 |
| 10 | 4 | 0.3322 | 1.9983 | 2.6178 |
| 11 | 1 | 0.2288 | 2.4213 | 3.1719 |
| 11 | 2 | 0.235 | 2.2597 | 2.9602 |
| 11 | 3 | 0.2049 | 2.4949 | 3.2683 |
| 11 | 4 | 0.2032 | 2.2015 | 2.8840 |
| 12 | 1 | 0.2571 | 2.6784 | 3.5087 |
| 12 | 2 | 0.2456 | 2.5053 | 3.2819 |
| 12 | 3 | 0.2102 | 2.7051 | 3.5437 |
| 12 | 4 | 0.2615 | 2.463 | 3.2265 |
| 13 | 1 | 0.2509 | 2.9293 | 3.8374 |
| 13 | 2 | 0.2571 | 2.7624 | 3.6187 |
| 13 | 3 | 0.2659 | 2.971 | 3.8920 |
| 13 | 4 | 0.2942 | 2.7572 | 3.6119 |
| 14 | 1 | 1.3136 | 4.2429 | 5.5582 |
| 14 | 2 | 1.2279 | 3.9903 | 5.2273 |
| 14 | 3 | 1.5751 | 4.5461 | 5.9554 |
| 14 | 4 | 1.4655 | 4.2227 | 5.5317 |
| 15 | 1 | 1.0627 | 5.3056 | 6.9503 |
| 15 | 2 | 1.5186 | 5.5089 | 7.2167 |
| 15 | 3 | 1.197 | 5.7431 | 7.5235 |
| 15 | 4 | 1.0194 | 5.2421 | 6.8672 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 11 แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 2 ความลึก 0-15 cm.

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0.0073 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 2 | 0.0075 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 3 | 0.0073 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 4 | 0.0071 | 0.0001 | 0.0000 |
| 2 | 1 | 0.037 | 0.0371 | 0.0119 |
| 2 | 2 | 0.0047 | 0.0048 | 0.0015 |
| 2 | 3 | 0.0041 | 0.0042 | 0.0013 |
| 2 | 4 | 0.0212 | 0.0213 | 0.0068 |
| 3 | 1 | 0.0715 | 0.1086 | 0.0348 |
| 3 | 2 | 0.0804 | 0.0852 | 0.0273 |
| 3 | 3 | 0.0881 | 0.0923 | 0.0295 |
| 3 | 4 | 0.0779 | 0.0992 | 0.0317 |
| 4 | 1 | 0.5234 | 0.632 | 0.2022 |
| 4 | 2 | 0.7583 | 0.8435 | 0.2699 |
| 4 | 3 | 0.7302 | 0.8225 | 0.2632 |
| 4 | 4 | 0.5974 | 0.6966 | 0.2229 |
| 5 | 1 | 0.6128 | 1.2448 | 0.3983 |
| 5 | 2 | 0.494 | 1.3375 | 0.4280 |
| 5 | 3 | 0.503 | 1.3255 | 0.4242 |
| 5 | 4 | 0.3881 | 1.0847 | 0.3471 |
| 6 | 1 | 0.7047 | 1.9495 | 0.6238 |
| 6 | 2 | 0.6128 | 1.9503 | 0.6241 |
| 6 | 3 | 0.7609 | 2.0864 | 0.6676 |
| 6 | 4 | 0.761 | 1.8457 | 0.5906 |
| 7 | 1 | 0.697 | 2.6465 | 0.8469 |
| 7 | 2 | 0.8885 | 2.8388 | 0.9084 |
| 7 | 3 | 0.6562 | 2.7426 | 0.8776 |
| 7 | 4 | 0.8157 | 2.6614 | 0.8516 |
| 8 | 1 | 0.2157 | 2.8622 | 0.9159 |
| 8 | 2 | 0.1187 | 2.9575 | 0.9464 |
| 8 | 3 | 0.3498 | 3.0924 | 0.9896 |
| 8 | 4 | 0.1238 | 2.7852 | 0.8913 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ)

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 1 | 0.6179 | 3.4801 | 1.1136 |
| 9 | 2 | 0.6026 | 3.5601 | 1.1392 |
| 9 | 3 | 0.6932 | 3.7856 | 1.2114 |
| 9 | 4 | 0.6983 | 3.4835 | 1.1147 |
| 10 | 1 | 0.5911 | 4.0712 | 1.3028 |
| 10 | 2 | 0.6013 | 4.1614 | 1.3316 |
| 10 | 3 | 0.0562 | 3.8418 | 1.2294 |
| 10 | 4 | 0.5515 | 4.035 | 1.2912 |
| 11 | 1 | 0.5604 | 4.6316 | 1.4821 |
| 11 | 2 | 0.2502 | 4.4116 | 1.4117 |
| 11 | 3 | 0.5796 | 4.4214 | 1.4148 |
| 11 | 4 | 0.2464 | 4.2814 | 1.3700 |
| 12 | 1 | 1.2357 | 5.8673 | 1.8775 |
| 12 | 2 | 1.2306 | 5.6422 | 1.8055 |
| 12 | 3 | 0.8209 | 5.2423 | 1.6775 |
| 12 | 4 | 1.0249 | 5.3063 | 1.6980 |
| 13 | 1 | 0.8234 | 6.6907 | 2.1410 |
| 13 | 2 | 0.8579 | 6.5001 | 2.0800 |
| 13 | 3 | 0.794 | 6.0363 | 1.9316 |
| 13 | 4 | 0.7864 | 6.0927 | 1.9497 |
| 14 | 1 | 0.3881 | 7.0788 | 2.2652 |
| 14 | 2 | 0.3932 | 6.8933 | 2.2059 |
| 14 | 3 | 0.3396 | 6.3759 | 2.0403 |
| 14 | 4 | 0.4506 | 6.5433 | 2.0939 |
| 15 | 1 | 0.4698 | 7.5486 | 2.4156 |
| 15 | 2 | 0.3906 | 7.2839 | 2.3308 |
| 15 | 3 | 0.3064 | 6.6823 | 2.1383 |
| 15 | 4 | 0.3281 | 6.8714 | 2.1988 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางผนวกที่</u> 12 แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 2 ความลึก 15-30 cm.

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 2 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 3 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 4 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 2 | 1 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 |
| 2 | 2 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 |
| 2 | 3 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 |
| 2 | 4 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 |
| 3 | 1 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0000 |
| 3 | 2 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0000 |
| 3 | 3 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0000 |
| 3 | 4 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0000 |
| 4 | 1 | 0.0005 | 0.0008 | 0.0000 |
| 4 | 2 | 0.0006 | 0.0009 | 0.0000 |
| 4 | 3 | 0.0007 | 0.001 | 0.0000 |
| 4 | 4 | 0.0006 | 0.0009 | 0.0000 |
| 5 | 1 | 0.0054 | 0.0062 | 0.0002 |
| 5 | 2 | 0.0023 | 0.0032 | 0.0001 |
| 5 | 3 | 0.0065 | 0.0075 | 0.0003 |
| 5 | 4 | 0.0697 | 0.0706 | 0.0028 |
| 6 | 1 | 0.0242 | 0.0304 | 0.0012 |
| 6 | 2 | 0.0221 | 0.0253 | 0.0010 |
| 6 | 3 | 0.0114 | 0.0189 | 0.0008 |
| 6 | 4 | 0.0151 | 0.0857 | 0.0034 |
| 7 | 1 | 0.0372 | 0.0676 | 0.0027 |
| 7 | 2 | 0.026 | 0.0513 | 0.0021 |
| 7 | 3 | 0.0177 | 0.0366 | 0.0015 |
| 7 | 4 | 0.0269 | 0.1126 | 0.0045 |
| 8 | 1 | 0.0206 | 0.0882 | 0.0035 |
| 8 | 2 | 0.0194 | 0.0707 | 0.0028 |
| 8 | 3 | 0.0256 | 0.0622 | 0.0025 |
| 8 | 4 | 0.0218 | 0.1344 | 0.0054 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 1 | 0.0367 | 0.1249 | 0.0050 |
| 9 | 2 | 0.0449 | 0.1156 | 0.0046 |
| 9 | 3 | 0.0322 | 0.0944 | 0.0038 |
| 9 | 4 | 0.0456 | 0.18 | 0.0072 |
| 10 | 1 | 0.0438 | 0.1687 | 0.0067 |
| 10 | 2 | 0.028 | 0.1436 | 0.0057 |
| 10 | 3 | 0.0325 | 0.1269 | 0.0051 |
| 10 | 4 | 0.0322 | 0.2122 | 0.0085 |
| 11 | 1 | 0.0164 | 0.1851 | 0.0074 |
| 11 | 2 | 0.0235 | 0.1671 | 0.0067 |
| 11 | 3 | 0.0315 | 0.1584 | 0.0063 |
| 11 | 4 | 0.0261 | 0.2383 | 0.0095 |
| 12 | 1 | 0.0104 | 0.1955 | 0.0078 |
| 12 | 2 | 0.0242 | 0.1913 | 0.0077 |
| 12 | 3 | 0.0138 | 0.1722 | 0.0069 |
| 12 | 4 | 0.0193 | 0.2576 | 0.0103 |
| 13 | 1 | 0.0152 | 0.2107 | 0.0084 |
| 13 | 2 | 0.025 | 0.2163 | 0.0087 |
| 13 | 3 | 0.0226 | 0.1948 | 0.0078 |
| 13 | 4 | 0.0227 | 0.2803 | 0.0112 |
| 14 | 1 | 0.0224 | 0.2331 | 0.0093 |
| 14 | 2 | 0.0267 | 0.243 | 0.0097 |
| 14 | 3 | 0.0272 | 0.222 | 0.0089 |
| 14 | 4 | 0.0368 | 0.3171 | 0.0127 |
| 15 | 1 | 0.0296 | 0.2627 | 0.0105 |
| 15 | 2 | 0.0256 | 0.2686 | 0.0107 |
| 15 | 3 | 0.0189 | 0.2409 | 0.0096 |
| 15 | 4 | 0.0231 | 0.3402 | 0.0136 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 13 แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 3 ความลึก 0-15 cm.

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 2 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 3 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 4 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 2 | 1 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 |
| 2 | 2 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 |
| 2 | 3 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 |
| 2 | 4 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 |
| 3 | 1 | 0.0216 | 0.0218 | 0.0085 |
| 3 | 2 | 0.0231 | 0.0233 | 0.0091 |
| 3 | 3 | 0.0215 | 0.0217 | 0.0085 |
| 3 | 4 | 0.0211 | 0.0213 | 0.0083 |
| 4 | 1 | 0.0207 | 0.0425 | 0.0166 |
| 4 | 2 | 0.0455 | 0.0688 | 0.0268 |
| 4 | 3 | 0.032 | 0.0537 | 0.0209 |
| 4 | 4 | 0.041 | 0.0623 | 0.0243 |
| 5 | 1 | 0.0721 | 0.1146 | 0.0447 |
| 5 | 2 | 0.0562 | 0.125 | 0.0488 |
| 5 | 3 | 0.0751 | 0.1288 | 0.0502 |
| 5 | 4 | 0.0692 | 0.1315 | 0.0513 |
| 6 | 1 | 0.1035 | 0.2181 | 0.0851 |
| 6 | 2 | 0.2601 | 0.3851 | 0.1502 |
| 6 | 3 | 0.1169 | 0.2457 | 0.0958 |
| 6 | 4 | 0.1052 | 0.2367 | 0.0923 |
| 7 | 1 | 0.3706 | 0.5887 | 0.2296 |
| 7 | 2 | 0.2431 | 0.6282 | 0.2450 |
| 7 | 3 | 0.2497 | 0.4954 | 0.1932 |
| 7 | 4 | 0.2307 | 0.4674 | 0.1823 |
| 8 | 1 | 0.1088 | 0.6975 | 0.2720 |
| 8 | 2 | 0.2307 | 0.8589 | 0.3350 |
| 8 | 3 | 0.1175 | 0.6129 | 0.2390 |
| 8 | 4 | 0.1216 | 0.589 | 0.2297 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ)

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 1 | 0.3013 | 0.9988 | 0.3895 |
| 9 | 2 | 0.1889 | 1.0478 | 0.4086 |
| 9 | 3 | 0.19 | 0.8029 | 0.3131 |
| 9 | 4 | 0.1523 | 0.7413 | 0.2891 |
| 10 | 1 | 0.1244 | 1.2132 | 0.4731 |
| 10 | 2 | 0.1186 | 1.1664 | 0.4549 |
| 10 | 3 | 0.1061 | 0.909 | 0.3545 |
| 10 | 4 | 0.1185 | 0.8598 | 0.3353 |
| 11 | 1 | 0.1719 | 1.3851 | 0.5402 |
| 11 | 2 | 0.1366 | 1.303 | 0.5082 |
| 11 | 3 | 0.122 | 1.031 | 0.4021 |
| 11 | 4 | 0.1232 | 0.983 | 0.3834 |
| 12 | 1 | 0.0946 | 1.4797 | 0.5771 |
| 12 | 2 | 0.1271 | 1.4301 | 0.5577 |
| 12 | 3 | 0.115 | 1.146 | 0.4469 |
| 12 | 4 | 0.1003 | 1.0833 | 0.4225 |
| 13 | 1 | 0.1379 | 1.6176 | 0.6309 |
| 13 | 2 | 0.1379 | 1.568 | 0.6115 |
| 13 | 3 | 0.1221 | 1.2681 | 0.4946 |
| 13 | 4 | 0.0982 | 1.1815 | 0.4608 |
| 14 | 1 | 0.151 | 1.7686 | 0.6898 |
| 14 | 2 | 0.1641 | 1.7321 | 0.6755 |
| 14 | 3 | 0.2131 | 1.4812 | 0.5777 |
| 14 | 4 | 0.1542 | 1.3357 | 0.5209 |
| 15 | 1 | 0.1843 | 1.9529 | 0.7616 |
| 15 | 2 | 0.0995 | 1.8316 | 0.7143 |
| 15 | 3 | 0.2725 | 1.7537 | 0.6839 |
| 15 | 4 | 0.104 | 1.4397 | 0.5615 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 14 แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 3 ความลึก 15-30 cm.

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 1 | 2 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 1 | 3 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 1 | 4 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 2 | 1 | 0.0132 | 0.0133 | 0.0125 |
| 2 | 2 | 0.0177 | 0.0178 | 0.0167 |
| 2 | 3 | 0.0124 | 0.0125 | 0.0118 |
| 2 | 4 | 0.025 | 0.0251 | 0.0236 |
| 3 | 1 | 0.0533 | 0.0666 | 0.0626 |
| 3 | 2 | 0.0513 | 0.0691 | 0.0650 |
| 3 | 3 | 0.051 | 0.0635 | 0.0597 |
| 3 | 4 | 0.0536 | 0.0787 | 0.0740 |
| 4 | 1 | 0.0757 | 0.1423 | 0.1338 |
| 4 | 2 | 0.0716 | 0.1407 | 0.1323 |
| 4 | 3 | 0.0762 | 0.1397 | 0.1313 |
| 4 | 4 | 0.1225 | 0.2012 | 0.1891 |
| 5 | 1 | 0.1601 | 0.3024 | 0.2843 |
| 5 | 2 | 0.1179 | 0.2586 | 0.2431 |
| 5 | 3 | 0.1214 | 0.2611 | 0.2454 |
| 5 | 4 | 0.2906 | 0.4918 | 0.4623 |
| 6 | 1 | 0.2781 | 0.5805 | 0.5457 |
| 6 | 2 | 0.2268 | 0.4854 | 0.4563 |
| 6 | 3 | 0.1886 | 0.4497 | 0.4227 |
| 6 | 4 | 0.1658 | 0.6576 | 0.6181 |
| 7 | 1 | 1.0735 | 1.654 | 1.5548 |
| 7 | 2 | 0.9402 | 1.4256 | 1.3401 |
| 7 | 3 | 0.6103 | 1.06 | 0.9964 |
| 7 | 4 | 0.5994 | 1.257 | 1.1816 |
| 8 | 1 | 0.5088 | 2.1628 | 2.0330 |
| 8 | 2 | 0.7066 | 2.1322 | 2.0043 |
| 8 | 3 | 0.5254 | 1.5854 | 1.4903 |
| 8 | 4 | 0.661 | 1.918 | 1.8029 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 1 | 1.1123 | 3.2751 | 3.0786 |
| 9 | 2 | 0.8912 | 3.0234 | 2.8420 |
| 9 | 3 | 0.6171 | 2.205 | 2.0727 |
| 9 | 4 | 0.9248 | 2.8428 | 2.6722 |
| 10 | 1 | 0.7225 | 3.9976 | 3.7577 |
| 10 | 2 | 0.7578 | 3.7812 | 3.5543 |
| 10 | 3 | 0.7499 | 2.9549 | 2.7776 |
| 10 | 4 | 0.6325 | 3.4753 | 3.2668 |
| 11 | 1 | 1.1276 | 5.1252 | 4.8177 |
| 11 | 2 | 0.8023 | 4.5835 | 4.3085 |
| 11 | 3 | 0.5299 | 3.4848 | 3.2757 |
| 11 | 4 | 0.5573 | 4.0326 | 3.7906 |
| 12 | 1 | 0.8006 | 5.9258 | 5.5703 |
| 12 | 2 | 0.8034 | 5.3869 | 5.0637 |
| 12 | 3 | 0.8285 | 4.3133 | 4.0545 |
| 12 | 4 | 0.5111 | 4.5437 | 4.2711 |
| 13 | 1 | 0.7333 | 6.6591 | 6.2596 |
| 13 | 2 | 0.8433 | 6.2302 | 5.8564 |
| 13 | 3 | 0.7333 | 5.0466 | 4.7438 |
| 13 | 4 | 0.7271 | 5.2708 | 4.9546 |
| 14 | 1 | 0.8387 | 7.4978 | 7.0479 |
| 14 | 2 | 0.8752 | 7.1054 | 6.6791 |
| 14 | 3 | 0.7259 | 5.7725 | 5.4262 |
| 14 | 4 | 0.8103 | 6.0811 | 5.7162 |
| 15 | 1 | 0.7624 | 8.2602 | 7.7646 |
| 15 | 2 | 0.6068 | 7.7122 | 7.2495 |
| 15 | 3 | 0.5293 | 6.3018 | 5.9237 |
| 15 | 4 | 0.49 | 6.5711 | 6.1768 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 15 แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 4 ความลึก 0-15 cm.

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0.0012 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 2 | 0.0034 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 3 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 4 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0000 |
| 2 | 1 | 0.002 | 0.0021 | 0.0001 |
| 2 | 2 | 0.0012 | 0.0013 | 0.0001 |
| 2 | 3 | 0.0015 | 0.0016 | 0.0001 |
| 2 | 4 | 0.0019 | 0.002 | 0.0001 |
| 3 | 1 | 0.0016 | 0.0037 | 0.0002 |
| 3 | 2 | 0.0013 | 0.0026 | 0.0001 |
| 3 | 3 | 0.0018 | 0.0034 | 0.0002 |
| 3 | 4 | 0.0016 | 0.0036 | 0.0002 |
| 4 | 1 | 0.0089 | 0.0126 | 0.0006 |
| 4 | 2 | 0.0066 | 0.0092 | 0.0005 |
| 4 | 3 | 0.0132 | 0.0166 | 0.0008 |
| 4 | 4 | 0.0166 | 0.0202 | 0.0010 |
| 5 | 1 | 0.0177 | 0.0303 | 0.0015 |
| 5 | 2 | 0.0218 | 0.031 | 0.0016 |
| 5 | 3 | 0.0216 | 0.0382 | 0.0019 |
| 5 | 4 | 0.0293 | 0.0495 | 0.0025 |
| 6 | 1 | 0.0298 | 0.0601 | 0.0030 |
| 6 | 2 | 0.0205 | 0.0515 | 0.0026 |
| 6 | 3 | 0.0225 | 0.0607 | 0.0030 |
| 6 | 4 | 0.0152 | 0.0647 | 0.0032 |
| 7 | 1 | 0.0832 | 0.1433 | 0.0072 |
| 7 | 2 | 0.0871 | 0.1386 | 0.0069 |
| 7 | 3 | 0.0481 | 0.1088 | 0.0054 |
| 7 | 4 | 0.0915 | 0.1562 | 0.0078 |
| 8 | 1 | 0.0732 | 0.2165 | 0.0108 |
| 8 | 2 | 0.109 | 0.2476 | 0.0124 |
| 8 | 3 | 0.0892 | 0.198 | 0.0099 |
| 8 | 4 | 0.1112 | 0.2674 | 0.0134 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ)

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 1 | 0.0608 | 0.2773 | 0.0139 |
| 9 | 2 | 0.0559 | 0.3035 | 0.0152 |
| 9 | 3 | 0.0762 | 0.2742 | 0.0137 |
| 9 | 4 | 0.0671 | 0.3345 | 0.0167 |
| 10 | 1 | 0.0224 | 0.2997 | 0.0150 |
| 10 | 2 | 0.0212 | 0.3247 | 0.0162 |
| 10 | 3 | 0.0135 | 0.2877 | 0.0144 |
| 10 | 4 | 0.0135 | 0.348 | 0.0174 |
| 11 | 1 | 0.0215 | 0.3212 | 0.0161 |
| 11 | 2 | 0.023 | 0.3477 | 0.0174 |
| 11 | 3 | 0.0229 | 0.3106 | 0.0155 |
| 11 | 4 | 0.0351 | 0.3831 | 0.0192 |
| 12 | 1 | 0.0186 | 0.3398 | 0.0170 |
| 12 | 2 | 0.0304 | 0.3781 | 0.0189 |
| 12 | 3 | 0.0188 | 0.3294 | 0.0165 |
| 12 | 4 | 0.0174 | 0.4005 | 0.0200 |
| 13 | 1 | 0.0443 | 0.3841 | 0.0192 |
| 13 | 2 | 0.0146 | 0.3927 | 0.0196 |
| 13 | 3 | 0.0338 | 0.3632 | 0.0182 |
| 13 | 4 | 0.0184 | 0.4189 | 0.0209 |
| 14 | 1 | 0.025 | 0.4091 | 0.0205 |
| 14 | 2 | 0.026 | 0.4187 | 0.0209 |
| 14 | 3 | 0.0369 | 0.4001 | 0.0200 |
| 14 | 4 | 0.031 | 0.4499 | 0.0225 |
| 15 | 1 | 0.0264 | 0.4355 | 0.0218 |
| 15 | 2 | 0.0253 | 0.444 | 0.0222 |
| 15 | 3 | 0.021 | 0.4211 | 0.0211 |
| 15 | 4 | 0.0262 | 0.4761 | 0.0238 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 16 แสดงความเข้มข้นของ Cd และประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 4 ความลึก 15-30 cm.

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 2 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 3 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 1 | 4 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 2 | 1 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 |
| 2 | 2 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 |
| 2 | 3 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 |
| 2 | 4 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 |
| 3 | 1 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0000 |
| 3 | 2 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0000 |
| 3 | 3 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0000 |
| 3 | 4 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0000 |
| 4 | 1 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0000 |
| 4 | 2 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0000 |
| 4 | 3 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0000 |
| 4 | 4 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0000 |
| 5 | 1 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0000 |
| 5 | 2 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0000 |
| 5 | 3 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0000 |
| 5 | 4 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0000 |
| 6 | 1 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0000 |
| 6 | 2 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0000 |
| 6 | 3 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0000 |
| 6 | 4 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0000 |
| 7 | 1 | 0.0022 | 0.0028 | 0.0001 |
| 7 | 2 | 0.0025 | 0.0031 | 0.0001 |
| 7 | 3 | 0.0032 | 0.0038 | 0.0002 |
| 7 | 4 | 0.0032 | 0.0038 | 0.0002 |
| 8 | 1 | 0.0101 | 0.0129 | 0.0005 |
| 8 | 2 | 0.0072 | 0.0103 | 0.0004 |
| 8 | 3 | 0.0125 | 0.0163 | 0.0007 |
| 8 | 4 | 0.0122 | 0.016 | 0.0006 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 16 (ต่อ)

| PV | Ref. | Cd ที่สกัดได้ (ppm) | Cd ทั้งหมดที่สกัดได้ (ppm) | % Removal |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 1 | 0.025 | 0.0379 | 0.0015 |
| 9 | 2 | 0.0212 | 0.0315 | 0.0013 |
| 9 | 3 | 0.0262 | 0.0425 | 0.0017 |
| 9 | 4 | 0.0259 | 0.0419 | 0.0017 |
| 10 | 1 | 0.0273 | 0.0652 | 0.0026 |
| 10 | 2 | 0.025 | 0.0565 | 0.0023 |
| 10 | 3 | 0.0248 | 0.0673 | 0.0027 |
| 10 | 4 | 0.023 | 0.0649 | 0.0026 |
| 11 | 1 | 0.0247 | 0.0899 | 0.0036 |
| 11 | 2 | 0.0236 | 0.0801 | 0.0032 |
| 11 | 3 | 0.0231 | 0.0904 | 0.0036 |
| 11 | 4 | 0.022 | 0.0869 | 0.0035 |
| 12 | 1 | 0.0248 | 0.1147 | 0.0046 |
| 12 | 2 | 0.0225 | 0.1026 | 0.0041 |
| 12 | 3 | 0.218 | 0.3084 | 0.0123 |
| 12 | 4 | 0.0157 | 0.1026 | 0.0041 |
| 13 | 1 | 0.0268 | 0.1415 | 0.0057 |
| 13 | 2 | 0.0225 | 0.1251 | 0.0050 |
| 13 | 3 | 0.0345 | 0.3429 | 0.0137 |
| 13 | 4 | 0.0291 | 0.1317 | 0.0053 |
| 14 | 1 | 0.0283 | 0.1698 | 0.0068 |
| 14 | 2 | 0.0271 | 0.1522 | 0.0061 |
| 14 | 3 | 0.0292 | 0.3721 | 0.0149 |
| 14 | 4 | 0.0272 | 0.1589 | 0.0064 |
| 15 | 1 | 0.058 | 0.2278 | 0.0091 |
| 15 | 2 | 0.0396 | 0.1918 | 0.0077 |
| 15 | 3 | 0.0492 | 0.4213 | 0.0169 |
| 15 | 4 | 0.0501 | 0.209 | 0.0084 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 17 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบกับความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 1

จุดที่ 1 ดินบน 0-15 cm.

**ANOVA**

removal

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 65.746 | 14 | 4.696 | 695.136 | .000 |
| Within Groups | .304 | 45 | .007 | | |
| Total | 66.050 | 59 | | | |

**removal**

Duncan

| PV | N | Subset for alpha = 0.05 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| PV1 | 4 | .0001 | | | | | | | | | |
| PV2 | 4 | .0001 | | | | | | | | | |
| PV3 | 4 | .0005 | | | | | | | | | |
| PV4 | 4 | .0202 | | | | | | | | | |
| PV5 | 4 | | .2085 | | | | | | | | |
| PV6 | 4 | | | .8366 | | | | | | | |
| PV7 | 4 | | | | 1.4794 | | | | | | |
| PV8 | 4 | | | | | 1.7531 | | | | | |
| PV9 | 4 | | | | | | 2.0617 | | | | |
| PV10 | 4 | | | | | | 2.1554 | 2.1554 | | | |
| PV11 | 4 | | | | | | | 2.2416 | | | |
| PV12 | 4 | | | | | | | | 2.3618 | | |
| PV13 | 4 | | | | | | | | 2.4649 | 2.4649 | |
| PV14 | 4 | | | | | | | | | 2.5762 | 2.5762 |
| PV15 | 4 | | | | | | | | | | 2.6762 |
| Sig. | | .756 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | .114 | .145 | .083 | .062 | .092 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 17 (ต่อ)

จุดที่ 1 ดินล่าง 15-30 cm.

**ANOVA**

removal

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 244.469 | 14 | 17.462 | 653.743 | .000 |
| Within Groups | 1.202 | 45 | .027 | | |
| Total | 245.671 | 59 | | | |

**removal**

Duncan

| | | Subset for alpha = 0.05 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PV | N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| PV1 | 4 | .0001 | | | | | | | | | | | |
| PV2 | 4 | .0009 | | | | | | | | | | | |
| PV3 | 4 | .0027 | | | | | | | | | | | |
| PV4 | 4 | .1765 | | | | | | | | | | | |
| PV5 | 4 | | 1.1147 | | | | | | | | | | |
| PV6 | 4 | | | 1.4220 | | | | | | | | | |
| PV7 | 4 | | | | 1.7208 | | | | | | | | |
| PV8 | 4 | | | | | 2.0770 | | | | | | | |
| PV9 | 4 | | | | | | 2.3353 | | | | | | |
| PV10 | 4 | | | | | | | 2.7855 | | | | | |
| PV11 | 4 | | | | | | | | 3.0711 | | | | |
| PV12 | 4 | | | | | | | | | 3.3902 | | | |
| PV13 | 4 | | | | | | | | | | 3.7400 | | |
| PV14 | 4 | | | | | | | | | | | 5.5681 | |
| PV15 | 4 | | | | | | | | | | | | 7.1394 |
| Sig. | | .171 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 18 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย ANOVA เปรียบเทียบกับความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 2

จุดที่ 2 ดินบน 0-15 cm.

**ANOVA**

removal

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 35.533 | 14 | 2.538 | 661.135 | .000 |
| Within Groups | .173 | 45 | .004 | | |
| Total | 35.706 | 59 | | | |

**removal**

Duncan

| PV | N | Subset for alpha = 0.05 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| PV1 | 4 | .0000 | | | | | | | | | | | |
| PV2 | 4 | .0053 | | | | | | | | | | | |
| PV3 | 4 | .0308 | | | | | | | | | | | |
| PV4 | 4 | | .2395 | | | | | | | | | | |
| PV5 | 4 | | | .3994 | | | | | | | | | |
| PV6 | 4 | | | | .6265 | | | | | | | | |
| PV7 | 4 | | | | | .8711 | | | | | | | |
| PV8 | 4 | | | | | .9358 | | | | | | | |
| PV9 | 4 | | | | | | 1.1447 | | | | | | |
| PV10 | 4 | | | | | | | 1.2887 | | | | | |
| PV11 | 4 | | | | | | | | 1.4196 | | | | |
| PV12 | 4 | | | | | | | | | 1.7646 | | | |
| PV13 | 4 | | | | | | | | | | 2.0255 | | |
| PV14 | 4 | | | | | | | | | | | 2.1513 | |
| PV15 | 4 | | | | | | | | | | | | 2.2708 |
| Sig. | | .513 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | .147 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 18 (ต่อ)

จุดที่ 2 ดินล่าง 15-30 cm.

**ANOVA**

removal

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | .001 | 14 | .000 | 42.190 | .000 |
| Within Groups | .000 | 45 | .000 | | |
| Total | .001 | 59 | | | |

**removal**

Duncan

| | | Subset for alpha = 0.05 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PV | N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| PV1 | 4 | .0000 | | | | | | | | |
| PV2 | 4 | .0000 | | | | | | | | |
| PV3 | 4 | .0000 | | | | | | | | |
| PV4 | 4 | .0000 | | | | | | | | |
| PV5 | 4 | .0008 | .0008 | | | | | | | |
| PV6 | 4 | .0016 | .0016 | | | | | | | |
| PV7 | 4 | | .0027 | .0027 | | | | | | |
| PV8 | 4 | | | .0035 | .0035 | | | | | |
| PV9 | 4 | | | | .0051 | .0051 | | | | |
| PV10 | 4 | | | | | .0065 | .0065 | | | |
| PV11 | 4 | | | | | | .0074 | .0074 | | |
| PV12 | 4 | | | | | | .0081 | .0081 | | |
| PV13 | 4 | | | | | | | .0090 | .0090 | |
| PV14 | 4 | | | | | | | | .0101 | .0101 |
| PV15 | 4 | | | | | | | | | .0111 |
| Sig. | | .118 | .052 | .340 | .076 | .133 | .078 | .103 | .208 | .287 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 19 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบกับความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 3

จุดที่ 3 ดินบน 0-15 cm.

**ANOVA**

removal

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 334.402 | 14 | 23.886 | 108.038 | .000 |
| Within Groups | 9.949 | 45 | .221 | | |
| Total | 344.351 | 59 | | | |

**removal**

Duncan

| | | Subset for alpha = 0.05 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PV | N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| PV1 | 4 | .0001 | | | | | | | |
| PV2 | 4 | .0161 | | | | | | | |
| PV3 | 4 | .0653 | | | | | | | |
| PV4 | 4 | .1466 | | | | | | | |
| PV5 | 4 | .3087 | | | | | | | |
| PV6 | 4 | .5107 | | | | | | | |
| PV7 | 4 | | 1.2682 | | | | | | |
| PV8 | 4 | | 1.8326 | | | | | | |
| PV9 | 4 | | | 2.6663 | | | | | |
| PV10 | 4 | | | | 3.3391 | | | | |
| PV11 | 4 | | | | | 4.0481 | | | |
| PV12 | 4 | | | | | | 4.7399 | | |
| PV13 | 4 | | | | | | | 5.4536 | |
| PV14 | 4 | | | | | | | | 6.2173 |
| PV15 | 4 | | | | | | | | 6.7786 |
| Sig. | | .186 | .097 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | .098 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 19 (ต่อ)

จุดที่ 3 ดินล่าง 15-30 cm.

**ANOVA**

removal

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | .004 | 14 | .000 | 268.493 | .000 |
| Within Groups | .000 | 45 | .000 | | |
| Total | .004 | 59 | | | |

**removal**

Duncan

| | | Subset for alpha = 0.05 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PV | N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| PV1 | 4 | .0000 | | | | | | | | | |
| PV2 | 4 | .0001 | | | | | | | | | |
| PV3 | 4 | .0001 | | | | | | | | | |
| PV4 | 4 | .0007 | .0007 | | | | | | | | |
| PV5 | 4 | | .0018 | .0018 | | | | | | | |
| PV6 | 4 | | | .0029 | | | | | | | |
| PV7 | 4 | | | | .0068 | | | | | | |
| PV8 | 4 | | | | | .0116 | | | | | |
| PV9 | 4 | | | | | | .0148 | | | | |
| PV10 | 4 | | | | | | .0157 | .0157 | | | |
| PV11 | 4 | | | | | | | .0170 | .0170 | | |
| PV12 | 4 | | | | | | | | .0181 | .0181 | |
| PV13 | 4 | | | | | | | | | .0194 | |
| PV14 | 4 | | | | | | | | | | .0209 |
| PV15 | 4 | | | | | | | | | | .0222 |
| Sig. | | .383 | .129 | .155 | 1.000 | 1.000 | .246 | .087 | .165 | .071 | .100 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 20 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบกับความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 4

จุดที่ 4 ดินบน 0-15 cm.

**ANOVA**

removal

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | .001 | 14 | .000 | 11.424 | .000 |
| Within Groups | .000 | 45 | .000 | | |
| Total | .001 | 59 | | | |

**removal**

Duncan

| | | Subset for alpha = 0.05 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| PV | N | 1 | 2 | 3 | 4 |
| PV1 | 4 | .0000 | | | |
| PV2 | 4 | .0000 | | | |
| PV3 | 4 | .0000 | | | |
| PV4 | 4 | .0000 | | | |
| PV5 | 4 | .0000 | | | |
| PV6 | 4 | .0000 | | | |
| PV7 | 4 | .0001 | | | |
| PV8 | 4 | .0005 | | | |
| PV9 | 4 | .0015 | | | |
| PV10 | 4 | .0025 | | | |
| PV11 | 4 | .0034 | .0034 | | |
| PV12 | 4 | | .0062 | .0062 | |
| PV13 | 4 | | | .0074 | .0074 |
| PV14 | 4 | | | .0085 | .0085 |
| PV15 | 4 | | | | .0105 |
| Sig. | | .062 | .074 | .168 | .061 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 20 (ต่อ)

จุดที่ 4 ดินบน 15-30 cm.

**ANOVA**

removal

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 3.329 | 14 | .238 | 78.898 | .000 |
| Within Groups | .136 | 45 | .003 | | |
| Total | 3.464 | 59 | | | |

**removal**

Duncan

| | | Subset for alpha = 0.05 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PV | N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| PV1 | 4 | .0000 | | | | | | | | |
| PV2 | 4 | .0001 | | | | | | | | |
| PV3 | 4 | .0086 | | | | | | | | |
| PV4 | 4 | .0221 | | | | | | | | |
| PV5 | 4 | .0487 | .0487 | | | | | | | |
| PV6 | 4 | | .1058 | | | | | | | |
| PV7 | 4 | | | .2125 | | | | | | |
| PV8 | 4 | | | .2689 | | | | | | |
| PV9 | 4 | | | | .3500 | | | | | |
| PV10 | 4 | | | | .4044 | .4044 | | | | |
| PV11 | 4 | | | | | .4584 | .4584 | | | |
| PV12 | 4 | | | | | | .5010 | .5010 | | |
| PV13 | 4 | | | | | | | .5494 | .5494 | |
| PV14 | 4 | | | | | | | | .6159 | .6159 |
| PV15 | 4 | | | | | | | | | .6803 |
| Sig. | | .272 | .148 | .153 | .168 | .171 | .279 | .219 | .093 | .104 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้