ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง

การสกัดแคดเมียม (Cd) ออกจากดิน ด้วยเทคนิคการชะล้างดิน (Soil Flushing) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

The Effect of Soil Flushing for Cadmium Removal from Contaminated Soil Using HCl as Flushing Solution

โดย

นายธนบัตร ซอหิรัญ

เสนอ

หลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม)
ปีการศึกษา 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี
หลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

เรื่อง การสกัดแคดเมียม (Cd) ออกจากดิน ด้วยเทคนิคการชะล้างดิน (Soil Flushing) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

The Effect of Soil Flushing for Cadmium Removal from Contaminated Soil Using HCl as Flushing Solution

โดย นายธนบัตร ซอหิรัญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล ถวิลถึง)

หลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม รับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ สีสนอง)

ประธานกรรมการบริหารหลักสูตรการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

วันที่ 27 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง	การสกัดแคดเมียม (Cd) ออกจากดิน ด้วยเทคนิคการชะล้างดิน (Soil Flushing) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด The Effect of Soil Flushing for Cadmium Removal from Contaminated Soil Using HCl as Flushing Solution
โดย	นายธนบัตร ซอหิรัญ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม)
หลักสูตร	การจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม
คณะ	เทคโนโลยีการเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล ถวิลถึง

บทคัดย่อ

การศึกษาการกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาสกัดไฮโดคลอริก (HCl) โดยใช้เทคนิคการชะล้างดิน เก็บตัวอย่างดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม 4 จุดจากบริเวณบ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (จุดที่ 1,2 แปลงนาติดกับลำห้วยแม่ตาว, จุดที่ 3 ติดหมู่บ้านพะเด๊ะ และจุดที่ 4 แปลงข้าวโพดห่างจากลำห้วยแม่ตาวประมาณ 100 เมตร) ซึ่งดินแต่ละจุดจะทำการเก็บตัวอย่างดิน ที่ 2 ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. นำมาทดสอบการบำบัดดินโดยเก็บจุดละ 100 กิโลกรัม แบ่งเป็น 0-15 ซม. 50 กิโลกรัม และ 15-30 ซม. 50 กิโลกรัม ทำการแยกขนาดขนาดอนุภาคโดยร่อนผ่านเครื่องแยกขนาดอนุภาคเป็น 5 ขนาดดังนี้ 1.00-2.00 มิลลิเมตร, 0.5-1.00 มิลลิเมตร, 0.25-0.5 มิลลิเมตร, 0.106-0.25 มิลลิเมตร,<0.106 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างดินตามระดับความลึกคือ 0-15 และ15-30 ซม.30-50 ซม . ,50-70 ซม และ .70-100 ที่บ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ที่ระดับความลึก 0-15 ซม และ .15- 30 ซม จำนวน .4 จุด โดยเก็บดิน 1 กิโลกรัมในแต่ระดับความลึก เพื่อศึกษาการสะสมแคดเมียมในดินหลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน และทำการสกัดแคดเมียมออกจากดินด้วยน้ำยาสกัดไฮโดคลอริก (HCl) โดยใช้เทคนิคการชะล้างดิน (Soil Flushing) ซึ่งใช้สัดส่วนระหว่างดินต่อน้ำยาสกัด (2:1) เพื่อศึกษาการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม โดยใช้วิธีชะการล้างดิน (Soil Flushing)

จากการทดลองพบว่าดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง,ดินร่วนเหนียว,ดินร่วนปนทราย และดินร่วน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) พบว่ามีความเป็นด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินบางจุดมีความเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลางและดินไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) อยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงสูง ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable base) พบว่า Ca มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก Mg มีต่ำค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูง K มีค่าอยู่ช่วงต่ำมากถึงปานกลาง และ Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก และค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก ส่วนประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดินด้วยน้ำยาสกัดไฮโดคลอริก (HCl) โดยใช้เทคนิคการชะล้างดิน (Soil Flushing) พบว่า มีความแตกต่างกันในดินละแต่จุด ทั้งดินบนและดินล่าง โดยพบว่าการใช้น้ำยาสกัดไฮโดคลอริก มีประสิทธิภาพในการสกัดแคดเมียมออกจากดิน ในจุดที่ 1 ดินบนและดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 8.29 % และ 49.28 % หลังจากจากบำบัด Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนและดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 81.81 และ 6.44 mg/kg ตามลำดับ ในจุดที่ 2 ดินบนและดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 25.55 % และ 16.28 % หลังจากจากบำบัด Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนและดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 19.51 และ 6.70 mg/kg ตามลำดับ ในจุดที่ 3 ดินบนและดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 12.00 % และ 23.56 % หลังจากจากบำบัด Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนและดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 22.70 และ 51.44 mg/kg ตามลำดับ ในจุดที่ 4 ดินบนและดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 14.64 % และ 17.71 % หลังจากจากบำบัด Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนและดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 2.48 และ 1.40 mg/kg ตามลำดับ และหลังการบำบัดดินพบว่า ในดินทั้ง 4 จุด ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในระดับเป็นกรดปานกลางถึงด่างเล็กน้อย (pH 6.13 – 7.68)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ปัญหาพิเศษปริญญาตรีฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.นุกูล ถวิลถึง อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่ได้ให้โอกาสทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณนารี พันธุ์จินดาวรรณ ที่กรุณาช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์ต่างๆในห้องปฏิบัติการ

ขอบขอบคุณ นางสาวเสาวลักษณ์ บุญหา นางสาววิจิตรพร เจริญรัตน์ นายเอกภพ เกื้อมณี นายอุทาน ยืนนาน นายฉัตรชัย เดชดำรง นางสาววัชรินทร์ วิจิตรตระการ ที่ร่วมทำงานต่างๆและคอยให้ความช่วยเหลือต่างๆ จนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้กำลังใจและคำปรึกษาที่ดีตลอดมา

ในการทำปัญหาพิเศษปริญญาตรีฉบับนี้ หากมีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้าขออภัยในข้อผิดพลาดดังกล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายธนบัตร ซอหิรัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ง
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	24
ผลการทดลอง	36
สรุปผลการทดลอง	55
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณแคดเมียมในดินที่ปนเปื้อน (ppm)	13
2	ปริมาณแคดเมียมในพืชบริเวณที่มีการปนเปื้อน (ppm นน.แห้ง)	14
3	ปริมาณแคดเมียมที่ร่างกายได้รับ	18
4	พิกัดจุดซึ่งมีการปนเปื้อนแคดเมียม	26
5	อัตราส่วนของดินต่อน้ำยาสกัด	32
6	คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 1	37
7	คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 3	37
8	คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 4	38
9	คุณสมบัติทางกายภาพของดิน	39
10	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 1 โดยใช้ HCl ในการสกัด	41
11	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 2 โดยใช้ HCl ในการสกัด	44
12	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 3 โดยใช้ HCl ในการสกัด	47
13	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (%Removal) จุดที่ 4โดยใช้ HCl ในการสกัด	50
14	ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้ง 3 จุดในการพิจารณาระดับการปนเปื้อน	52
15	ปริมาณแคดเมียมในดินหลังผ่านการบำบัดโดยเทคนิคการชะล้างดิน	52
16	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) หลังผ่านการบำบัดโดยเทคนิคการชะล้างดิน	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	แสดงค่าวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแต่ละจุด (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+})	60
2	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 1	61
3	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 2	63
4	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 3	65
5	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี DMRTด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 4	67
6	แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่1บน	69
7	แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่1ล่าง	70
8	แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่2บน	71
9	แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่2ล่าง	72
10	แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่3บน	73
11	แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่3ล่าง	74
12	แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่4บน	75
13	แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่4ล่าง	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน	26
2	แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน	31
3	แสดงขั้นตอนการสกัดแคดเมียมออกจากดินโดยวิธีการชะล้างดิน(Soil washing)	34
4	แสดงการชะล้างดินโดยใช้ HCl	35
5	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15ซม.) โดยการใช้ HCl ในการสกัด	42
6	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30ซม.) โดยการใช้ HCl ในการสกัด	42
7	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15ซม.) โดยการใช้ HCl ในการสกัด	45
8	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30ซม.) โดยการใช้ HCl ในการสกัด	45
9	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15ซม.) โดยการใช้ HCl ในการสกัด	48
10	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30ซม.) โดยการใช้ HCl ในการสกัด	48
11	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15ซม.) โดยการใช้ HCl ในการสกัด	51
12	ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30ซม.) โดยการใช้ HCl ในการสกัด	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงงาน กำหนดปริมาณในภาชนะและวัสดุที่ใช้สัมผัสหรือห่อ การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างการเราได้อีกด้วย ซึ่งเป็นผลเสียต่อร่างกายทั้งแบบเฉียบพลัน และเรื้องรัง โดยแคดเมียมจะเข้าไปทำลายระบบทางเดินอาหาร ระบบหายใจ พิษต่อไต พิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจและระบบการสร้างเม็ดโลหิต พิษที่กระดูกที่ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรคอิไต-อิไต โรคชนิดนี้เป็นโรคกระดูกผุ คือกระดูกจะพรุน กระดูกโก่ง งอโค้งได้ จะทำให้กระดูกเสียรูปทรง แตกร้าวและหักได้ เนื่องจากร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง

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

การบำบัดที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว รวมถึงแคดเมียม มีอยู่หลายวิธี และวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมคือ วิธีการชะล้างดิน (Soil Flushing) โดยใช้น้ำยา HCl นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์พยายามใช้น้ำยาสกัดอื่นๆ เช่น $CaCl_2$, $NaCl_2$, $MgCl_2$, KCl และการทดลองในครั้งนี้ได้ใช้วิธีการชะล้างดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด·

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการกำจัดแคดเมียมออกจากดินโดยใช้เทคนิคการชะล้างดิน (Soil Flushing) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

1. สภาพบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา

ข้อมูลทั่วไป

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

ทิศเหนือติดกับตำบลแม่ปะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ทิศใต้ติดกับตำบลแม่กุ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ทิศตะวันออกติดกับตำบลพระวอ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ทิศตะวันตกติดกับตำบลแม่ตาว และตำบลแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

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

2. ธรณีวิทยาของตำบลพระธาตุผาแดง

ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ตำบลพระธาตุผาแดงจะเป็นแนวเดียวกันตั้งแต่ภาคเหนือตอนบนได้แก่ จังหวัดแม่ฮ่องสอนทอดยาวมายังอำเภอแม่สอดจังหวัดตาก จนถึงทิศตะวันตกของประเทศไทย คืออำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งรวมเรียกว่า " ธรณีวิทยาแนวแม่ฮ่องสอน – แม่สอด - ทองผาภูมิ" โดยชั้นหินที่สำคัญในแนวนี้ประกอบด้วยหินยุคไซลูเรียน – ดีโวเนียน – คาร์บอนิกเฟอรัส ส่วนใหญ่ได้แก่ หินเชิร์ต หินดินดาน หินทราย สลับชั้นกับชั้นหินปูน โดยมีหินทรายแดงและหินกรวดมนคาร์บอนิคเฟอรัสวางตัวอยู่บนแนวเทือกเขาต่อลงมาทางใต้ในเขตอำเภอทองผาภูมิ พบหินส่วนใหญ่เป็นหินตะกอน หินอัคนีและหินแปรเพียงเล็กน้อย ซึ่งเชื่อว่าเป็นหินยุคแคมเบรียน พบเป็นแนวยาวอยู่สองบริเวณคือ บริเวณน้ำตกคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร และแนวระหว่างลำน้ำแควใหญ่กับแควน้อย ช่วงระหว่างอำเภอศรีสวัสดิ์ กับอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี โดยต่อเนื่องลงมาตามแนวลำน้ำแควใหญ่ถึงบริเวณด้านใต้ของอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นหินปูนและหินตะกอนมหายุคพาลีโอโซอิกตอนล่าง ยุคออร์โดวินเซียน – ดีโวเนียน ที่ถูกแปรสภาพขั้นต่ำไม่รุนแรงมากนัก ส่วนหินยุคดีโวเนียน – คาร์บอนิค ฟอสฟอรัส พบอยู่บริเวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านตะวันตกของลำน้ำแควน้อยต่อเนื่องลงไปทางใต้ ลักษณะประการหนึ่งในพื้นที่นี้คือมีหินปูนยุคเพอร์เมียน หินทรายและหินทรายแป้งสีแดงที่เกิดจากการสะสมตัวในทะเลมหายุคมีโซโซอิกแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างขึ้นไปถึงเขตอำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก (ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรธรณี)

2.1 สายแร่ของตำบลพระธาตุผาแดง

เนื่องจากแคดเมียมมีคุณสมบัติเหมือนแร่สังกะสีจึงทำให้พบธาตุทั้งสองชนิดอยู่ด้วยกันในธรรมชาติซึ่งสังกะสีจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบแต่แคดเมียมเป็นสารพิษจึงไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ สำหรับประเทศไทยพบแร่สังกะสีหลายแห่งแต่ส่วนใหญ่จะพบว่ามีปริมาณเพียงเล็กน้อยที่พบเป็นแหล่งใหญ่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจซึ่งได้ดำเนินโครงการทำเหมือง และมีการผลิตในปัจจุบันได้แก่ แหล่งสังกะสีผาแดง อ.แม่สอด จ.ตาก ส่วนบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่สังกะสีที่น่าสนใจได้แก่ บริเวณด้านตะวันตกของประเทศไทย ตั้งแต่จังหวัดแม่ฮ่องสอนลงมาจนถึงจังหวัดเพชรบุรี โดยมีบริเวณสำคัญๆ เช่น อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี (ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรธรณี)

2.2 การปนเปื้อนในดินในบริเวณที่ทำการศึกษา

บริเวณที่ได้ทำการศึกษาต่อคือ บ้านพะเต๊าะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นอำเภอหนึ่งทางตอนกลางของจังหวัดตาก ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการปนเปื้อนจะอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาว ซึ่งการปนเปื้อนนี้เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ คือมีการทำเหมืองแร่สังกะสีบริเวณยอดเขาซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแหล่งนี่สำคัญที่ใช้ในการอุปโภค บริโภค และการเกษตรกรรมในพื้นที่ดังกล่าวเนื่องจากแคดเมียมมีสมบัติใกล้เคียงกับสังกะสีทุกประการซึ่งมักอยู่รวมกับกำมะถันเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) มีสีเหลืองและมักปนอยู่กับแร่สังกะสีซัลไฟด์เมื่อมีการปิดหน้าดินจากการทำเหมืองจึงทำให้แคดเมียมปะปนออกมาจากการชะล้างของน้ำฝนและไหลลงสู่ลำห้วยแม่ตาวในรูปของดินตะกอนซึ่งผลการศึกษาขององค์กรนานาชาติ IWMI พบว่าในพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณแร่แคดเมียมในดินเกินมาตรฐานสูงมากที่ส่งผลต่อสุขภาพประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวจากการตรวจสอบดินในนาจำนวน 154 แปลง พบแคดเมียมอยู่ในช่วง 3.4-284 มิลลิกรัมแคดเมียม/กก.ของดิน ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของยุโรปที่กำหนดไว้ 3 มิลลิกรัมแคดเมียม/กก.ของดิน ซึ่งค่าแคดเมียมที่ตรวจพบจึงเกินกว่ามาตรฐานถึง 1.13-94 เท่า โดยธรรมชาติแคดเมียมที่อยู่ในตะกอนดินหากมีค่าความเป็นกรด – ด่างมากกว่า 7.7 จะอยู่ในรูป $Cd_3(PO_4)^2$ และจะอยู่ในรูป $CdCO_3$ เมื่อมีค่าความเป็นกรด – ด่างน้อยกว่า 7.7 (Sadiq, 1992) หลังจากนั้นก็จะปะปนไปกับกระแสน้ำในลำห้วยจนถึงบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมที่เกิดปัญหาเมื่อเกษตรกรทำการปลูกข้าวแคดเมียมที่สะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในดินก็จะถูกดูดดึงขึ้นไปสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของข้าวในรูปแคดเมียมอิออน (Cd^{2+}) ซึ่งจากการตรวจพืชผลทางการเกษตรพบว่ามีแคดเมียมในเม็ดข้าวถึง 0.1-44 มิลลิกรัมแคดเมียม/กก.ของข้าว สูงกว่าค่ามาตรฐานของไทยที่กำหนดไว้ที่ 0.043 มิลลิกรัมแคดเมียม/กก.ของข้าว รวมถึงกระเทียมสูงเกินมาตรฐานถึง126 เท่า ในถั่วเหลืองเกินมาตรฐานของไทยที่กำหนดไว้ที่ 0.043 มิลลิกรัมแคดเมียม /กก.ของข้าว รวมถึงกระเทียมสูงเกินมาตรฐานถึง 126 เท่า ในถั่วเหลืองเกินมาตรฐาน 16 เท่า ซึ่งถือว่าสูงมากและเป็นอันตรายกับประชาชนในพื้นที่ดังกล่าว

3. **การชะล้างดิน** (Soil Flushing)

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

1.1 **สารละลายกรด** ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะ และสารอินทรีย์บางชนิด แต่ไม่นิยมใช้เนื่องจากจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน

1.2 **สารละลายเบส** ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะ สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก

1.3 **น้ำ** ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของสารที่ละลายน้ำได้ (water-soluble) และพื้นที่สามารถพาไปได้ (water-mobile costituents) โดยพิจารณาจากค่าการละลายของสารปนเปื้อนนั้น

1.4 Surfactants ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์เช่น ยาฆ่าแมลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แคดเมียม

4.1 ข้อมูลทั่วไป

แคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนักในหมู่ 2B ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับสังกะสีในตารางธาตุสัญลักษณ์ทางเคมี คือ Cd ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แหล่งกำเนิด

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

4.3 การเกิดปฏิกิริยาในดินของแคดเมียม

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

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

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

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

สารประกอบ : CdO , $CdCO_3$

ปัจจัยสำคัญที่สุดในการควบคุมการเคลื่อนที่ได้ของแคดเมียมในดิน คือ พีเอชและศักย์รีดอกซ์ ซึ่งดินมีศักย์รีดอกซ์สูง แคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบ เช่น CdO หรือ CdO_3 หรืออาจอยู่รวมกับฟอสเฟตได้เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่าพีเอช ระหว่าง 4.5-5.5 แต่ในดินที่เป็นด่าง แคดเมียมไม่ค่อยเคลื่อนที่ ซึ่งในสภาพดินเป็นกรดสภาพละลายได้ของแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและอะลูมินัมและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

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

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

5. กรรมวิธีการผลิตแคดเมียม (Cadmium Production Process)

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการในการผลิตแคดเมียมจากผลิตผลที่เหลือ หรือประเภทก้อนของสังกะสี แคดเมียม ส่วนใหญ่จะใช้วิธี Hydrometallurgical ซึ่งมีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. บดให้ละเอียดและแขวนลอยในน้ำ (Leaching Process)

2. กระบวนการแยกสิ่งเจือปนต่างๆ ออก (Purification Process)

3. แยกแคดเมียมออกจากสารละลายโดยใช้ไฟฟ้า (Electrolytic)

4. นำแคดเมียมที่แยกได้มาหลอมละลาย

5. นำมาผ่านขบวนการต่างๆ เพื่อให้ได้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูง

สำหรับการสกัดเอาแคดเมียมออกจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีแคดเมียมประกอบอยู่ มีขั้นตอนในการสกัดดังนี้ คือ

1) นำผลิตภัณฑ์เหล่านั้นไปละลายในกรดซัลฟูริกเจือจาง จะทำให้แคดเมียมและสังกะสีละลายออกมา จากนั้นแคดเมียมจะตกตะกอนลงมากับฝุ่นสังกะสี

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

3) นำตะกอนแคดเมียมผึ่งลม เพื่อให้เกิดการออกซิไดซ์เป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ (ขั้นตอนนี้บางแห่งใช้ไอน้ำ)

4) นำตะกอนดังกล่าวมาสกัดเอาแคดเมียมออกมาโดยนำไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 70-80 g/L

5) แคดเมียมซัลเฟต จะถูกตกตะกอนจากสารละลายโดยการใช้ไฟฟ้าที่ 40 องศาเซลเซียส 6)นำเอาแคดเมียมที่เกาะติดอยู่บนแท่งแคโทดออกทำให้แห้งและนำไปหลอมอีกครั้งที่อุณหภูมิ 330-335 องศาเซลเซียส

7) แคดเมียมที่ได้จะถูกหล่อให้เป็นก้อนหรือแท่ง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคดเมียม ออกมาโดยใช้เครื่องเซนติฟิวส์ซึ่งแคดเมียมที่ได้จะถูกนำมาผ่านขบวนการอื่นๆ อีก เพื่อให้ได้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูง

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

6. การใช้ประโยชน์ของแคดเมียม

แคดเมียมไม่มีบทบาทในสิ่งมีชีวิต แต่จะมีการใช้เพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรมหลายชนิด ในปี 1988 แคดเมียมถูกผลิตขึ้นในสหรัฐอเมริกา 1,900 เมตริกตัน และทั่วโลกมีการผลิตมากถึง 19,800 เมตริกตัน ส่วนใหญ่จะใช้แคดเมียมในอุตสาหกรรมหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นใช้เคลือบผิวหรือชุบโลหะ (electroplating) ใช้เป็นตัวทำให้เกิดสี (color agent) ต่างๆ ในสีทาบ้าน สีน้ำมัน ยาง แก้ว พลาสติก ผ้า เส้นใย เพื่อให้เกิดสีเหลือง (CdS) สีส้มแดง (complex cadmium salt) การใช้แคดเมียมสเตียเรต ทำให้พลาสติกมีความทนทานมากขึ้น ใช้ผสมกับเงินเพื่อทำภาชนะต่างๆ เช่น ขันน้ำ เพื่อไม่ให้ภาชนะเปลี่ยนเป็นสีดำได้ง่าย ใช้ทำแบตเตอรี่ ทำกระป๋องโลหะบางชนิด ใช้เป็นส่วนผสมของสารกำจัดเชื้อราบางชนิด ใช้ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันเครื่องบางชนิด เช่น น้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น แคดเมียมซัลไฟด์ใช้ทำแผ่นพลาสติกบางๆ ในเซลล์สุริยะ นอกจากนี้แคดเมียมได้ถูกนำมาใช้ในทางเกษตรบ้าง เช่น มีการนำไปผลิตสารฆ่าแมลง และ ยังพบว่ามีแคดเมียมผสมในน้ำมันดีเซล ทำให้พบแคดเมียมในฝุ่นละออง และดินบริเวณข้างถนนในปริมาณมาก (เบญจลักษณ์, 2546)

7. การแพร่กระจายแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อม

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

2. จากโรงงานชุบโลหะแคดเมียม ซึ่งของเสียจากโรงงานประเภทนี้ จะมีแคดเมียมประมาณ 100-500 ppm. และโลหะอื่นๆ รวมทั้งไซยาไนด์และสารเคมีอื่นๆ ผสมอยู่ด้วย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

7. จากการใช้ถ่านหินและน้ำมันเชื้อเพลิง แคดเมียมเป็นธาตุปริมาณน้อยในเชื้อเพลิงพวกฟอสซิส Fossil Fuels ดังนั้นเมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้ แคดเมียมจะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของไอและเถ้า ปริมาณแคดเมียมในถ่านหินอยู่ในช่วง 0.25-5.00 ppm ถึงแม้จะไม่ทราบเปอร์เซ็นต์ที่แน่นอนของแคดเมียมที่ถูกปล่อยออกมาจากปล่องหรือส่วนที่ถูกขจัดโดย Acrubber หรือส่วนที่ถูกทำให้ ตกตะกอน (precipitated) ก็ตาม แต่พบว่าในเถ้าจากถ่านหิน (Coal Ash) มีปริมาณแคดเมียมสูงถึง 151 ppm ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมโดยเฉลี่ยในน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 0.3 ppm.

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ปริมาณแคดเมียมในดินบนที่มีการปนเปื้อน (ppm)

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

ที่มา : ศุภมาศ (2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ปริมาณแคดเมียมในพืชบริเวณที่มีการปนเปื้อน (ppm นน.แห้ง)

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

ที่มา : ศุภมาศ (2540)

8. ความเป็นพิษของแคดเมียม

จากการที่แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภค ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้โลหะแคดเมียมเกิดการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศและในอาหาร ทำให้เราได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางโดยไม่รู้ตัว คนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกานจากอาการที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจติดปะปนมากับพืชผัก ผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร แคดเมียมอาจละลายอยู่ในน้ำที่เราดื่มและได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นแคดเมียมฟุ้งกระจายอยู่โดยเฉพาะในแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่นโรงงานทำแบตเตอรี่ หรือบริเวณที่เป็นเหมืองแร่ สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง ที่มักมีแคดเมียมปนอยู่ด้วย การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบและการอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในอากาศนานๆ จะทำให้แคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายเราได้อีกด้วย สำหรับผู้ที่สูบบุหรี่จัดจะทำให้ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกายครึ่งหนึ่งจะไปสะสมอยู่ที่ตับและไต ทำให้เกิดพิษสะสมได้ในคน การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขับแคดเมียมที่ร่างกายดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่างกายเป็นไปค่อนข้างช้ามากเพราะวงจรครึ่งชีวิตของแคดเมียมในคนค่อนข้างยาว 16-33 ปี โดยความเป็นพิษของแคดเมียมแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้

8.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกินซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหาร หรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อนหรือบรรจุในภาชนะที่เคลือบด้วยแคดเมียม อาการที่ปรากฏเริ่มแรกคือ รู้สึกคลื่นเหียนอย่างรุนแรง อาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากอาจเกิดอาการช็อกเนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมาก ระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงตายได้

ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ การสูดหายใจเอาไอของแคดเมียมเข้าไปทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลม ปอด จมูก ลำคอ และยังทำให้เกิดอาการไอ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก

8.2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

ความเป็นพิษจากแคดเมียมที่เกิดกับคนส่วนใหญ่มักเป็นแบบชนิดเรื้อรังซึ่งเกิดจากการที่ร่างกายได้รับแคดเมียมเข้าไปเป็นเวลานานติดต่อกัน ได้แก่

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขับออกมามากผิดปกติด้วย เช่น กรดอะมิโนทำให้เกิดอาการ aminoaciduria แคลเซียมทำให้เกิดอาหาร hypercalciumuria และ กลูโคส ทำให้เกิดอาการ glucosuria เป็นต้น

ความเป็นพิษที่กระดูกที่ปรากฏเด่นชัดในกรณีโรคอิไต-อิไต โรคชนิดนี้เป็นโรคกระดูกผุคือกระดูกจะพรุน กระดูกโก่ง งอโค้งได้จะทำให้กระดูกเสียรูปทรงแตกร้าวและหักได้ เนื่องจากร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง

ความเป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจและระบบการสร้างเม็ดโลหิตจะทำให้เกิดความดันโลหิตสูงเป็นสาเหตุให้เกิดโรคหัวใจ หัวใจเต้นผิดปกติในกลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรค อิไต อิไต และกลุ่มคนงานที่ต้องสัมผัสกับแคดเมียมจะพบอาการของโรคโลหิตจางด้วย

ความเป็นพิษต่อตับ มีรายงานค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับความเป็นพิษต่อตับในคน แต่จากการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่าแคดเมียมในปริมาณน้อย (ในน้ำดื่ม 1 ppm) มีผลทำให้การทำงานของเอ็นไซม์ในตับเปลี่ยนไป

จากการทดลองในสัตว์พบว่าแคดเมียมยังเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทำให้เกิดมะเร็งของเนื้อเยื่อที่อยู่ลึก (sarcoma) เช่นกล้ามเนื้อกระดูกในหนูทดลองจากความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียมที่กล่าวมายังมีโลหะหนักอื่นอีกหลายชนิดซึ่งไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเช่นกล้ามเนื้อกระดูกในหนูทดลองจากความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียมที่กล่าวมายังมีโลหะหนักอื่นอีกหลายชนิดซึ่งไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น ตะกั่ว สารหนู ปรอท โครเมียม เป็นต้น เนื่องจากโลหะหนักต่างๆ เหล่านี้ยังมีความจำเป็นต่อชีวิตประจำวันอยู่การใช้โลหะหนักเหล่านี้จะทำให้โลหะหนักเหล่ามีโอกาสที่จะแพร่หกระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมและปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ การศึกษาพิษวิทยาของโลหะหนักจึงมีความสำคัญเพื่อหาแนวทางป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป

8.3 โรคอิไต-อิไต (Itai-Itai disease)

ในอดีตได้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักคือแคดเมียมในนาข้าวจากแม่น้ำจินทสึ ซึ่งต้นน้ำขึ้นไป มีการปล่อยน้ำเสียจากโรงถลุงแร่ของบริษัทมิตซุย ที่ผลิตแร่ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ซึ่งแคดเมียมจะเป็นของเหลือทิ้งออกมา ทั้งนี้เพราะในธรรมชาติ มักจะพบแคดเมียมร่วมกับสังกะสีเสมอในอัตราส่วน Zn/Cd ประมาณ 900/1 ในข้าวที่บริโภคนั้นมีแคดเมียมปริมาณ 1 ppm ในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่สองคือ ในปี พ.ศ. 2489 หมอชื่อ Dr.Noboru Hagino ได้พบโรคนี้เป็นครั้งแรกในเมืองโทยามะ โดยเริ่มเป็นที่ไตล้มเหลว ปวดกระดูก จนถึงกระดูกผิดรูปจะพบได้มากที่สุดในหญิงที่มีบุตรแล้ว อาการของโรคที่พบได้ง่ายที่สุดคือ จะรู้สึกเจ็บจากการกดกระดูก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระดูกต้นขา กระดูกสันหลัง และกระดูกซี่โครง เรียกว่าโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"อิไต-อิไต" (Itai-Itai byo) ซึ่งแปลเป็นไทยว่า โรค *"โอ้ยเจ็บๆ"* อันเป็นคำอุทานเมื่อรู้สึกเจ็บปวด ถ้าเป็นมาก กระดูกจะฝ่อและผิดรูป ถ้าเป็นหลายปีกระดูกจะผิดรูปถึงขั้นเดินไม่ได้และแม้กระทั่งกระดูกจะหักเพียงแค่ไอแรงๆ ในช่วง 20 ปีหลังจากเกิดเหตุมีคนตายเนื่องจากโรคนี้กว่าร้อยคน ภายหลังจากนี้ได้พบโรคนี้อีกหลายแห่งในประเทศญี่ปุ่น (ศุภมาศ , 2540)

9. การดูดซึมแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย

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

9.1 ปริมาณที่ร่างกายได้รับแคดเมียมแล้วเกิดอันตราย

ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าไปในร่างกายส่วนใหญ่จะเกิดจากการกิน ซึ่งทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน โดยการเกิดพิษจะแบ่งตามปริมาณแคดเมียมที่ได้รับเข้าไปคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ปริมาณแคดเมียมที่ร่างกายได้รับ

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

ที่มา : ศุภมาศ (2540)

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

9.2 ค่ามาตรฐานของแคดเมียม

9.2.1 มาตรฐานแคดเมียมที่มีอยู่ในดิน ไทยกำหนดไว้ 2 แบบคือ

ดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมไม่เกิน 37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

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

9.2.2 มาตรฐานแคดเมียมที่มีอยู่ในน้ำ

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

น้ำที่มีความกระด้างในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตเกินกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร ต้องมีค่าแคดเมียมไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในน้ำดื่มนั้นองค์การอนามัยโลกระบุไว้ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นยอมให้มีแคดเมียมในน้ำได้ 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร

9.3 มาตรฐานแคดเมียมอื่นๆ

มาตรฐานโคเด็กซ์ในผักมีการกำหนดให้สารแคดเมียมปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

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

องค์การอนามัยโลกกำหนดค่าปกติแคดเมียมในปัสสาวะ <2 ไมโครกรัม / กรัมครีอาตินีน และค่าสูงสุดที่อนุญาตให้มีได้ 10 ไมโครกรัม / กรัมครีอาตินีน

องค์การอนามัยโลกกำหนดค่าปกติแคดเมียมในเลือด 5 ไมโครกรัม / ลิตร และค่าสูงสุดที่อนุญาตให้มีได้ 10 ไมโครกรัม / ลิตร

10. เทคโนโลยีในการบำบัดสารพิษในดิน

วิธีการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน สามารถแบ่งเป็น 11 วิธีได้แก่

1. Isolation and containment

คือ วิธีการแยกและควบคุมโลหะหนัก โดยการปรับสภาพให้คงตัว (Solidification) หรือการปรับสภาพให้เสถียร (Stabilization) เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะ

2. Mechnical separation

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

3. Pyrometallurgical separation

คือ วิธีการบำบัดสำหรับโลหะหนักที่สามารถระเหยได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-700^{0}C เป็นวิธีการที่เหมาะกับการบำบัดปรอท

4. Chemical treatment

คือ วิธีการบำบัดทางเคมี โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือการปรับพีเอชด้วยสารละลายกรดหรือเบส เพื่อลดความเป็นพิษ ตกตะกอน หรือ เพื่อละลายโลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Permeable treatment walls

คือ การบำบัดโดยใช้แผงกั้นที่มีความสามารถในการซึมผ่าน เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะในน้ำใต้ดิน

6. Electrokinetics

คือ การแยกไอออนบวกและไอออนลบในน้ำใต้ดิน โดยผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังขั้วอิเล็คโทรดทั้งสอง (Cathod และ anode)

7. Biochemical process

คือ วิธีการบำบัดโดยอาศัยกระบวนการทางชีวเคมีได้แก่ การชะทางชีวภาพ ปฏิกิริยาออกซิเดชันขรีดักชัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นการใช้แบคทีเรียและควบคุมสภาวะต่างๆ เช่น ปริมาณออกซิเจน ค่าพีเอช และอุณหภูมิ

8. Phytoremediation

คือ การบำบัดโดยใช้พืชเป็นตัวสกัดโลหะหนักออกจากดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งอาจนำวิธีบำบัดวิธีอื่นมาร่วมด้วย เช่น การสกัดโลหะหนักด้วยกรด

9. Soil Flushing

คือ วิธีการสกัดโลหะหนักออกจากจารดินโดยใช้น้ำหรือสารละลายชะสิ่งเจือปนออกมา ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายในแหล่งปนเปื้อนได้

10. Treatment of sediments

คือ วิธีการบำบัดกากตะกอนโดยอาศัยหลักการต่างๆ เช่น Hydrocyclone , Solidification, stabilization และการสกัดด้วยสารละลายกรด

11. Soil washing (chemical leaching)

คือวิธีการกำจัดโลหะหนักออกจากดินปนเปื้อนด้วยการใช้สารละลายสกัดต่างๆ เช่น คีเลตติงค์เอเจนต์ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายนอกแหล่งปนเปื้อนได้

11. กรดไฮโดรคลอริก

11.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกรดไฮโดรคลอริก

กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริกเป็นสารประกอบเคมีประเภทกรดละลายในน้ำ โดยเป็นสารละลายไฮโดรเจนคลอไรด์ในน้ำ มีสูตรเคมีคือ HCl มีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งแก๊สและของเหลว

- ถ้าพบในรูปของเหลว เรียกว่า Hydrochloric acid (กรดเกลือ)
- ถ้ามีสถานะเป็นแก๊ส เรียกว่า Hydrogen chloride

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดเกลือเป็นสารที่ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน มีฤทธิ์ผุกร่อนอย่างรุนแรง

กรดไฮโดรคลอริก ถูกค้นพบโดย จาเบียร์ เฮย์ยัน (Jabir ibn Hayyan) ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตสารประกอบอินทรีย์ เช่น ไวนิลคลอไรด์ สำหรับผลิต PVC พลาสติก และ MDI/TDI (Toluene Dissocyanate) สำหรับผลิตโพลิยูริเทน (Polyurethane) และใช้ในการผลิตขนาดเล็ก เช่น ผลิตเจลาติน ใช้ปรุงอาหาร ใช้ฟอกหนัง

กรดเกลือในห้องปฏิบัติการใช้ในการผลิตสารประกอบคลอไรด์ และใช้ในการแยกแร่ให้บริสุทธิ์ เช่น แร่สังกะสี แทนทาลัม เป็นต้น และมักใช้กรดเกลือ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำยาล้างห้องน้ำ เพราะกรดเกลือมีคุณสมบัติในการกัดกร่อนคราบสกปรก ทำให้การทำความสะอาดสุขภัณฑ์ทำได้ง่าย

ในร่างกายมนุษย์ ในส่วนของกระเพาะอาหารมีกรดเกลือ ทำหน้าที่ช่วยในการทำงานของเอ็นไซม์เปบซิน เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยโปรตีนในกระเพาะอาหาร

กรดเกลือ จัดเป็นกรดแก่ เนื่องจากมีความสามารถในการแตกตัวได้ 100 % สามารถเขียนสมการแสดงการแตกตัวได้ดังนี้

$HCl + H_2O \text{ ------> } H^+ + Cl^-$ หรือ $HCl + H_2O \text{ ------> } H3O^+ + Cl^-$

คุณสมบัติของกรดไฮโดรคลอริก

1. มีธาตุไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ
2. มีรสเปรี้ยว
3. ทำปฏิกิริยากับโลหะ เช่น สังกะสี แมกนีเซียม ทองแดง ดีบุก และอะลูมิเนียม จะได้แก๊สไฮโดรเจน
4. ทำปฏิกิริยากับหินปูนซึ่งเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต หินปูนสึกกร่อน ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้น้ำปูนใสขุ่น
5. เปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินเป็นสีแดง
6. ทำปฏิกิริยากับเบสได้เกลือและน้ำ เช่น กรดเกลือทำปฏิกิริยากับโซดาแผดเผาหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นเบส ได้เกลือโซเดียมคลอไรด์หรือเกลือแกง
7. สารละลายกรดทุกชนิดนำไฟฟ้าได้ดี เพราะกรดสามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน
8. กรดมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนสารต่างๆได้โดยเฉพาะเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ถ้ากรดถูกผิวหนังจะทำให้ผิวหนังไหม้ ปวดแสบปวดร้อน ถ้ากรดถูกเส้นใยของเสื้อผ้า เส้นใยจะถูกกัดกร่อนให้ไหม้ได้ นอกจากนี้กรดยังทำลายเนื้อไม้ กระดาษ และพลาสติกบางชนิดได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรทางเคมี	HCl
ชื่อตาม IUPAC	Hydrochloric acid
CAS Number	7647-01-0
ลักษณะ	เป็นของเหลวใส
มวลโมเลกุล	36.46 g/mol (HCl)
pK_{a1-6}	8.0
ความสามารถในการละลายน้ำ	Miscible
จุดหลอมเหลว	27.32 °C (247 K)38% solution.

ที่มา: Chemicalland (2003)

11.2 พิษของกรดไฮโดรคลอริก ที่มีต่อร่างกาย

1.ระบบทางเดินหายใจ กรดเกลือทำให้เกิดอาการระคายเคืองจมูก ลำคอ และเยื่อบุทางเดินหายใจ เมื่อสูดดมเข้าไป 35 ppm จะเริ่มเกิดอาการ หากสูดดมเข้าไป 50 – 100 ppm อาการจะรุนแรง ทำให้เนื้อเยื่อบวม จนอุดตันทางเดินหายใจและ suffocation ได้ ผู้ที่ได้รับพิษรุนแรงจะมีอาการหายใจหอบ หายใจไม่ทัน เนื่องจากภาวะอุดกั้นหลอมลมขนาดเล็ก บางรายอาจเกิดภาวะปอดบวมน้ำซึ่งอันตรายอย่างมาก สำหรับในเด็ก อาจเกิดอาการคล้ายหืดหอบ

2. สมดุลกรด – เบส ในร่างกาย อาจเกิดขึ้น เมื่อได้รับกรดเกลือในระบบทางเดินอาหาร จากการรับประทานกรดเกลือเข้าไป จะทำให้มีอัตราการเผาผลาญสารอาหารมากกว่าปกติ อาจทำให้เสียชีวิตได้

3. ผิวหนัง เมื่อได้รับพิษจากกรดเกลือโดยการสัมผัสบริเวณผิวหนังในปริมาณมาก จะทำให้เกิดแผลลึกคล้ายไฟไหม้ น้ำร้อนลวก และอาจจะเกิดแผลที่เยื่อบุ หรือถ้าได้รับปริมาณน้อย (สัมผัสกรดเกลือที่เจือจาง) จะทำให้เกิดผื่นผิวหนังอักเสบและระคายเคือง หากเกิดในเด็กจะมีความรุนแรงมากกว่าในผู้ใหญ่

4.พิษต่อตา ไอระเหยของไฮโดรเจนคลอไรด์ หรือกรดเกลือ ทำให้เซลล์กระจกตาตาย เลนต์ตาเกิดเป็นต้อกระจก และความดันภายในลูกตาเพิ่มขึ้นจนเป็นต้อหินได้ กรณีที่สัมผัสกับสารละลายที่เจือจาง จะเกิดแผลที่กระจกตาด้านนอก

5. ระบบทางเดินอาหาร ก่อให้เกิดอาการปวดท้องอย่างรุนแรง กลืนลำบาก คลื่นไส้ อาเจียน การได้รับพิษโดยการกินกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จะทำให้เกิดการหลุดลอกของเยื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บุหลอดอาหารและกระเพาะอาหารเกิดเป็นแผล ภายในมีเลือดออก แผลอาจทะลุได้

6. ระบบหัวใจและหลอดเลือด เกิดขึ้นเมื่อได้รับพิษจากการกิน การสัมผัสในปริมาณสูง โดย HCl ทำให้ความดันโลหิตต่ำ เกิดภาวะเลือดออกในทางเดินอาหาร และระบบสมดุลน้ำและของเหลวในร่างกายเสียไป ทำให้ปอดทำหน้าที่ผิดปกติ

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. เครื่องแก้วและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ต่างๆ

1) Beaker

2) Cylinder

3) Digestion apparatus

4) Digestion tube

5) Erlenmeyer flask

6) Leaching tube

7) Marker

8) Pipette

9) Test tube

10) Reagent vessel

11) Volumetric flask

12) Volumetric pipette

13) กระดาษกรองเบอร์ 2, 5, 42

14) กรวยกรอง

15) ถุงพลาสติก

16) แท่งแก้วคน

17) หลอด Centrifuge ขนาด 50 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18) หลอดหยด

19) และอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการอื่นๆ

3. สารเคมีที่ในการทดลอง

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

19) HCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

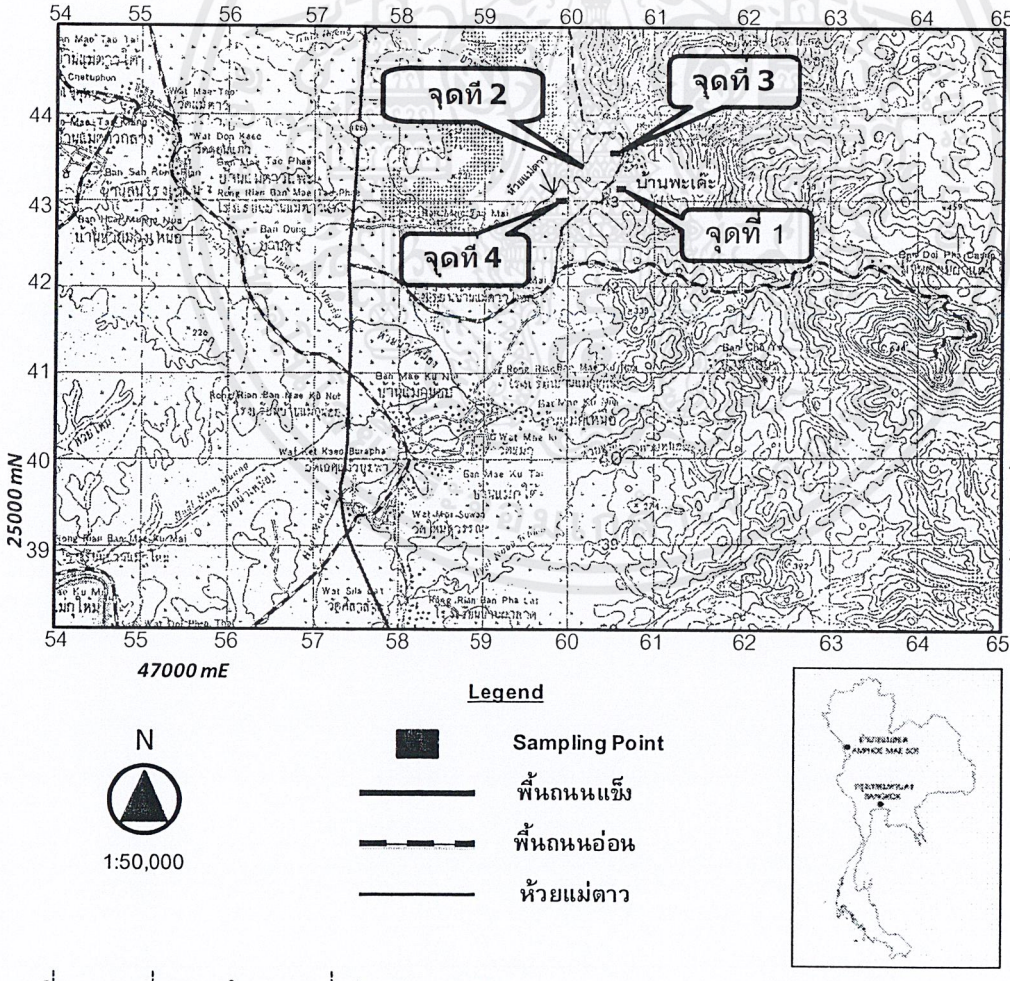
วิธีการทดลอง

1. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลองกับดินบ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ทำการเก็บตัวอย่างดิน 3 จุดซึ่งมีการปนเปื้อนแคดเมียมในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1

ตารางที่ 4 พิกัดจุดซึ่งมีการปนเปื้อนแคดเมียม

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



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน

ที่มา: กรมแผนที่ทหาร (2522)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเก็บตัวอย่างดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม (Cd)

1.การเก็บตัวอย่างดิน

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

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

3. การเตรียมตัวอย่างดิน

3.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้นของดิน

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

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

3) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Organic metter) โดยใช้วิธี wet oxidation (Walkley and Black, 1934) โดยออกซิไดซ์ดินด้วย Potssium dichromate ($k_2Cr_2O_7$) และกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น แล้วหาปริมาณอินทรียคาร์บอนโดยการไทเทรตกับสารละลาย Ferrous sulfate ($FeSO_4$) นำค่าปริมาณอินทรียคาร์บอนที่ได้คูณด้วย 1.724

4) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ชั่งดินประมาณ 1-2 กรัม บรรจุดินใน leaching tube ที่รองก้นด้วย filter pulp (กระดาษกรองชิ้นเล็กๆ ต้มในน้ำเดือดจนยุ่ย) แล้วชะดินด้วยสารละลาย NH_4OAc pH 7.0 ปริมาณ 100 มิลลิลิตร จนดินอิ่มตัวด้วย NH_4^+ (saturation) ล้าง NH_4OAc ที่เกินด้วย elhyl alcohol ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และแทนที่ NH_4^+ ด้วย acidified NaCl 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับ H_2SO_4 จนละลายเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง นำค่าที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณหาค่า CEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เบสที่แลกเปลี่ยนได้ (CA^{2+}, Mg^{2}, K^{+}, Na^{+}) สกัดดินด้วย NH_4OAc pH 7.0 นำสารละลายที่ได้ไปวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Model Hitachi Z8200) สำหรับแคลเซียม แมกนีเซียม เติม strontium chloride (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 ,Pb)

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

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

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

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

การเตรียม standard solution Cd ที่ความเข้มข้น 0,0.5,1.0,1.5 และ 2.0 ppm จาก stock standard solution 1000 ppm โดยดูด stock standard 100 ppm แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 500 มิลลิลิตร จะได้ standard solution 1000 ppm และดูด standard solution 1000 ppm ใส่ลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

3.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของดิน

ในการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคดิน จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Pipette method

1) ชั่งตัวอย่างดินมา 10 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร (ตัวอย่างละ2 ซ้ำ) เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5-10 มิลลิลิตร นำไปเร่งปฏิกิริยาบนเตา (hot plate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

3.3 วิเคราะห์หาปริมาณ Total Cd ที่มีอยู่ในดิน

ในการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนทั้งหมดในดิน วิเคราะห์ได้โดยใช้กรดไนตริกและกรดเปอร์คลอริก ด้วยวิธี Wet digestion ดังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ในภาพที่ 2

1) ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ลงในหลอด digest tube

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

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

4) หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

5) นำไปวัดปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การสกัดแคดเมียมออกจากดินโดยเทคนิคการชะล้างดิน (Soil Flushing)

4.1 เตรียมอุปกรณ์

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

2) นำตาข่ายพลาสติก และกระดาษกรอง มารัดที่ก้นท่อ PVC

3) เตรียมถุงน้ำเกลือ พร้อมสายน้ำเกลือ

4) เตรียมกระป๋องไว้รองรับสารละลาย HCl หลังจากการชะล้างดินแล้ว

4.2 หาค่ามวลดิน

จะต้องคำนวณมวลดินที่จะใส่ในกระบอก PVC โดยค่า Bulk Density ใน PVC ต้องเท่ากับสภาพพื้นที่จริง โดยหาได้จากนำค่า Bulk Density ที่ได้มาหาค่ามวลดิน

มวลดิน = Bulk Density × ปริมาตร(PVC)

4.3 การหาค่าความหนาแน่นอนุภาคดิน

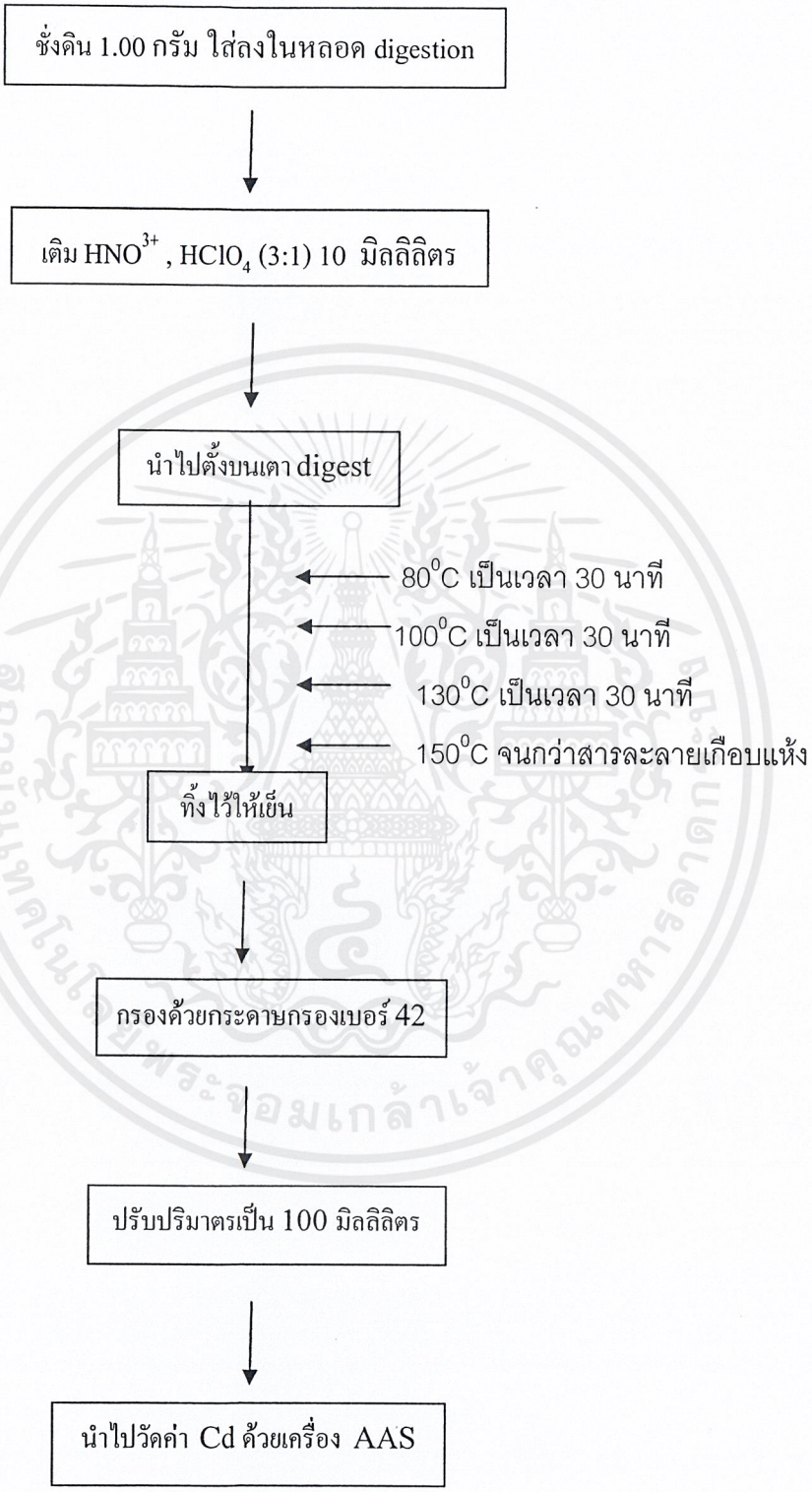
$$\text{Particle Density} = \frac{M_1}{(M_3 - M_2) + M_1}$$

M_1 = น้ำหนักดินที่ใช้ (25 g)

M_2 = น้ำหนักรวม ขวด ดิน และน้ำ

M_3 = น้ำหนัก ขวด + น้ำจนถึงขีดปริมาตร (ใช้ Volumetric flask 100 ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 หาค่า Pore Volume

จะต้องคำนวณหาค่า Pore Volume เพื่อที่จะนำมาใช้ชะล้างแคดเมียมออกจากดิน โดยหาได้จาก

$$\text{Pore Volume} = \frac{f}{100} \times \pi r^2 h$$

โดย $f = \frac{V}{V + V_s} \times 100$; $V_s = \frac{\text{มวลดิน}}{\text{Particle Density}}$

4.5 การเตรียมน้ำยาสกัด HCl

นำกรด HCl มาหาค่าความเข้มข้นก่อน โดยใช้สูตร N1V1 = N2V2 HCl = 12.06N สัดส่วนในการเตรียมสารคือใช้ HCl 116ml : น้ำ 20 ลิตร ใส่ถัง 20 ลิตร 3 ถัง

$$0.1N \longrightarrow 2\text{ลิตร} = 2000ml$$

$$12.06 \times \pi = 0.1 \times 2000ml$$

$$\pi = \frac{0.1 \times 2000ml}{12.06}$$

$$\pi = 166ml$$

ตารางที่ 5 อัตราส่วนของดินต่อน้ำยาสกัด

กระบอกที่	ดินจุดที่	น้ำหนักดิน (g)	Pvที่	เติมHCl (ml)
1	1 บน	234	1-15	127
2	1 ล่าง	282	1-15	122
3	2 บน	310	1-15	122
4	2 ล่าง	310	1-15	108
5	3 บน	305	1-15	99
6	3 ล่าง	344	1-15	100
7	4 บน	382	1-15	96
8	4 ล่าง	364	1-15	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ขั้นตอนการชะล้างดิน

ขั้นตอนการชะล้างดินโดยใช้ HCl ดังแสดงในภาพที่ 3

1) ชั่งดินใส่กระบอก PVC ตามค่ามวลดินที่ได้จากการคำนวณความหนาแน่นของดินในแต่ละจุด

2) เคาะท่อ PVC เพื่อให้ดินมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นในสนาม

3) ใช้ HCl จำนวน 1 Pore Volume ให้ทำการชะล้างดิน ดังแสดงในภาพที่ 4

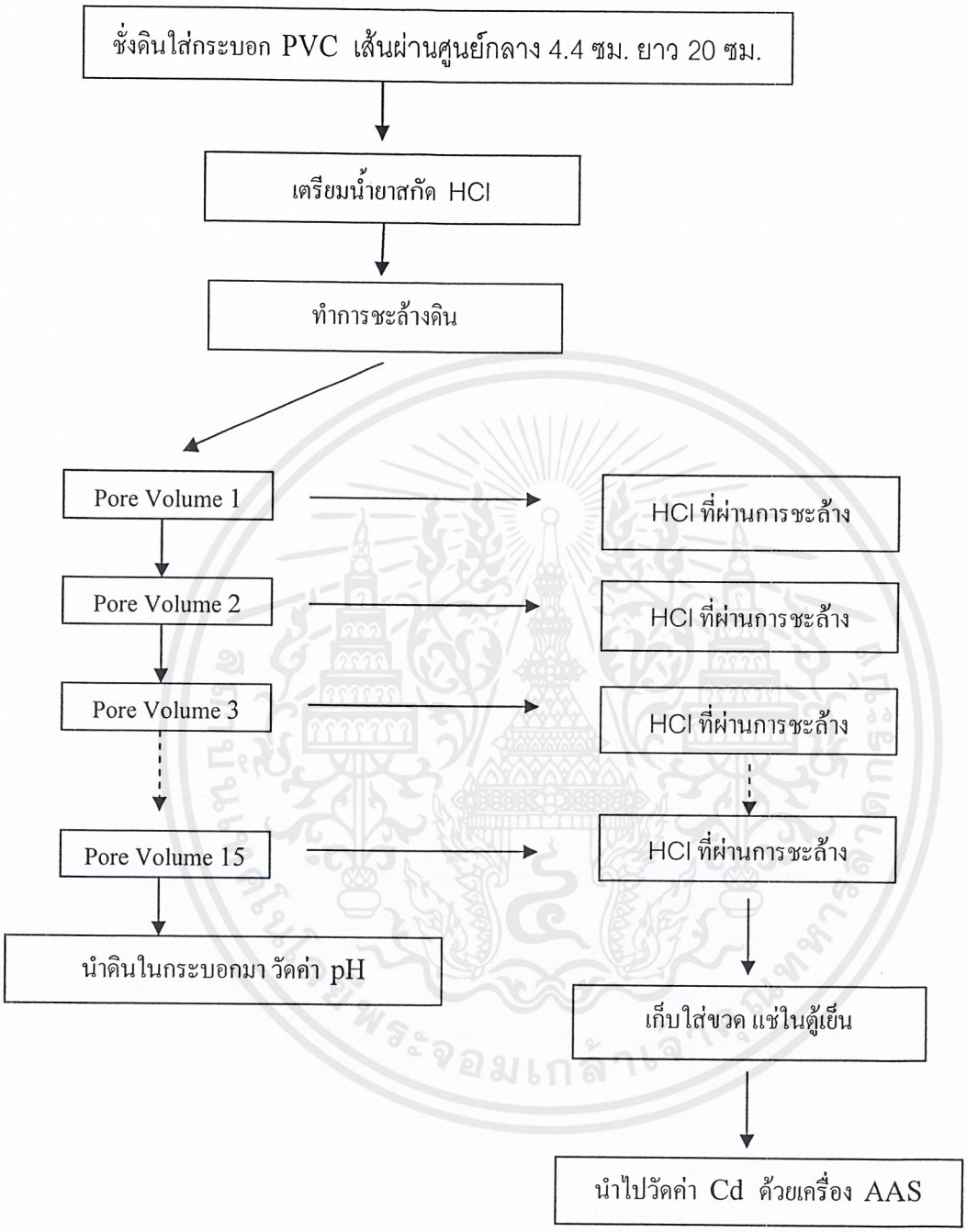
4) รอจน HCl ในแต่ละ Pore Volume หยดจนหมด แล้วนำมาเก็บใส่ขวดไว้

5) ทำการชะล้างในดินแต่ละชนิด จำนวน 15 Pore Volume

6) นำ HCl ที่ชะล้างแคดเมียมที่ได้ ไปวัดปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

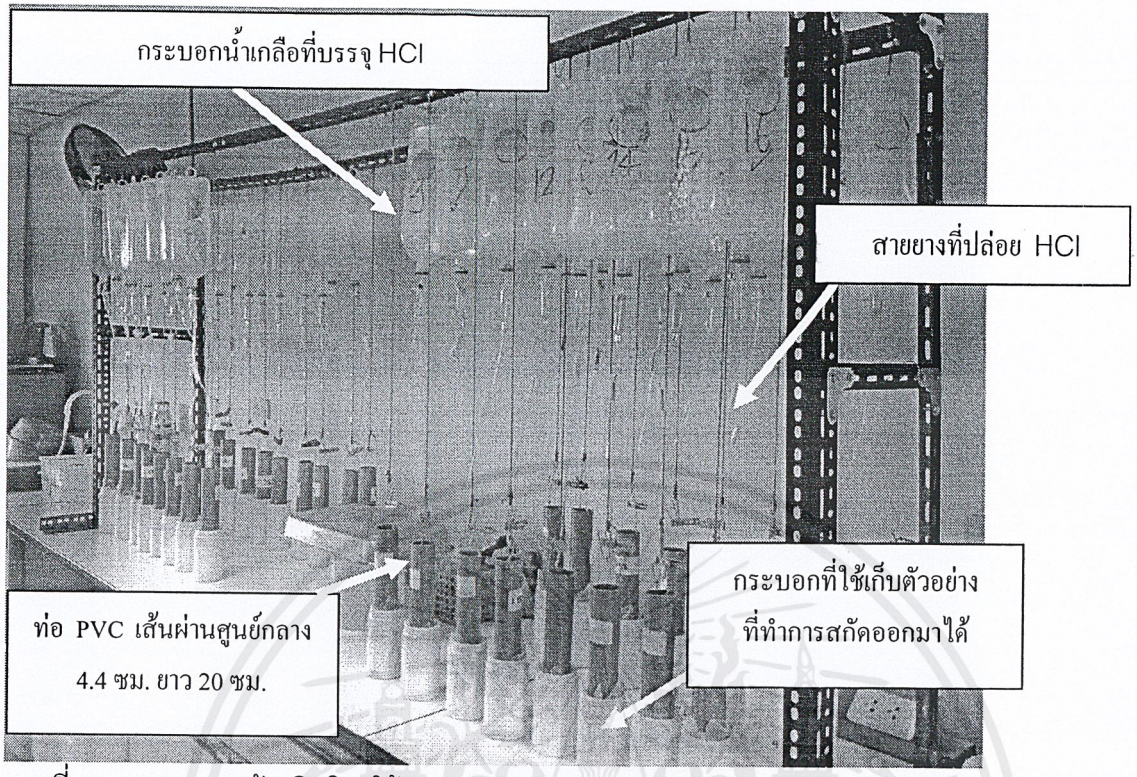
7) นำดินในกระบอกมาตากให้แห้งแล้วนำไปวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ใช้อัตราส่วนดิน : น้ำ เท่ากับ 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการสกัดแคดเมียมออกจากดินโดยวิธีชะการล้างดิน (Soil Flushing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 แสดงการชะล้างดินโดยใช้ HCl

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

1. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

1.1) จุดที่ 1 พบว่าทั้งดินบนและดินล่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง (pH 7.41-7.69) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ถือได้ว่าไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าค่อนข้างสูงถึงสูงมาก (2.00-9.65%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูง (12.79-21.50 me/100 g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (6.79-42.76 me/100 g soil) ในส่วนของ Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูง (0.52-3.37 me/100 g soil) ส่วน K มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง (0.18-0.48 me/100 g soil) และ Na มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (0.46-11.27 me/100 g soil) ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (53-267) ดังแสดงในตารางที่ 4

1.2) จุดที่ 3 พบว่าทั้งดินบนและดินล่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง (pH 7.57-7.88) ใกล้เคียงกับจุดที่ 1ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ถือได้ว่าไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าค่อนข้างสูงถึงสูงมาก (0.84-3.07%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูง (1.89-9.35 me/100 g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (6.06-49.55 me/100 g soil) ในส่วนของ Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูง (0.33-1.74 me/100 g soil) ส่วน K มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงต่ำ (0.05-0.20 me/100 g soil) และ Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก (0.13 - 3.60 me/100 g soil) ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงมาก (101-873) ดังแสดงในตารางที่ 5

1.3) จุดที่ 4 พบว่าทั้งดินบนและดินล่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง (pH 6.53-6.95)ซึ่งต่ำกว่า 2 จุดที่ผ่านมาเล็กน้อย ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ถือได้ว่าไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง (1.24 - 2.64%)ใกล้เคียงกับจุดที่ 3 แต่ต่ำกว่าจุดที่ 1 และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง (8.63-14.28 me/100 g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง (1.29-8.37 me/100 g soil) ในส่วนของ Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง (0.01-2.10 me/100 g soil) ส่วน K มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงต่ำ (0.07-0.24 me/100 g soil) และ Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก (0.26-25.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

me/100 g soil) ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก (22.05-197) ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 1

Dept (cm.)	อนุภาค (mm.)	pH ดิน :น้ำ 1:1	EC (us/cm) 1:5	% OM	Exchangeable base (me/100 g soil)				% BS	CEC (me/100 g soil)	Total Cd (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na			
0-15	<2.00	7.57	139	3.23	42.76	3.37	0.28	0.68	267	17.58	7.64
	1.00-2.00	7.41	195	6.48	14.74	0.91	0.45	0.48	79.3	20.90	85.4
	0.50-1.00	7.61	184	7.04	16.06	0.77	0.42	0.50	95.9	18.51	71.2
	0.25-0.5	7.56	197	7.98	18.77	0.89	0.48	0.49	95.9	21.50	75.3
	0.106-0.25	7.52	193	7.65	23.57	1.00	0.35	11.27	184	19.68	67.0
	<0.106	7.59	166	9.65	11.02	0.52	0.34	0.61	79.4	15.73	65.0
15-30	<2.00	7.51	102	2.00	14.91	2.45	0.08	0.72	136	13.28	37.52
	1.00-2.00	7.63	124	3.76	6.79	0.52	0.26	0.53	53.00	15.30	139
	0.50-1.00	7.63	130	3.98	10.84	0.98	0.28	0.46	73.79	17.02	142
	0.25-0.5	7.64	135	4.46	9.79	0.69	0.29	0.53	64.66	17.46	161
	0.106-0.25	7.61	119	3.32	8.64	1.10	0.26	0.50	77.10	13.63	128
	<0.106	7.69	124	3.13	12.07	2.21	0.18	0.35	116	12.79	137

ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 3

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 4

Dept (cm.)	อนุภาค (mm.)	pH ดิน :น้ำ 1:1	EC (us/cm) 1:5	%OM	Exchangeable base (me/100 g soil)				%BS	CEC (me/100 gsoil)	Total Cd (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na			
0-15	<2.00	6.80	32	2.30	7.46	2.10	0.24	0.58	103	10.03	4.16
	1.00-2.00	6.95	29	2.14	1.57	0.48	0.17	0.31	22.2	11.53	5.10
	0.50-1.00	6.88	29	2.11	1.69	0.01	0.20	0.30	22.1	12.21	3.37
	0.25-0.5	6.77	25	1.88	1.99	0.02	0.16	0.30	27.6	10.48	3.86
	0.106-0.25	6.53	29	1.95	1.94	0.02	0.20	0.57	32.1	9.99	4.10
	<0.106	6.66	37	2.64	2.29	0.02	0.24	25.0	197	14.28	4.36
15-30	<2.00	6.62	25	1.92	8.37	1.95	0.20	0.51	102	10.79	1.47
	1.00-2.00	6.59	22	1.47	1.29	0.39	0.17	0.26	16.4	12.95	1.86
	0.50-1.00	6.62	22	1.32	8.00	1.83	0.15	0.26	84.6	12.10	2.16
	0.25-0.5	6.72	21	1.24	1.20	0.35	0.13	0.29	22.7	8.63	1.29
	0.106-0.25	6.69	23	1.38	1.59	0.47	0.07	0.39	26.4	9.52	1.78
	<0.106	6.61	27	1.82	1.69	0.57	0.18	0.75	25.0	12.76	2.40

2. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ในตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่า ดินจุดที่ 1 ความลึก (0-15 ซม.), (50-70 ซม.) เป็นดินร่วนปนทรายแป้ง ความลึก (15-30 ซม.) เป็นดินทราย ส่วนความลึก (30-50 ซม.) และ (70-100 ซม.) เป็นดินร่วนเหนียว ส่วนดินจุดที่ 3 ดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วน ยกเว้นที่ระดับ (50-70 ซม.) เป็นดินร่วน และดินจุดที่ 4 ดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วน ในส่วนของความหนาแน่นรวมของดินพบว่าดินจุดที่ 1 มีค่าความหนาแน่นรวม (1.03 g/cm^3) และค่า % moisture (95.44%) สูงกว่าดินจุดอื่นๆ เพราะในดินจุดที่ 1 นั้นเป็นดินนา ซึ่งดินนานั้นจัดเป็นดินเหนียวมีช่องว่างน้อยและมีน้ำท่วมตลอดเวลา มีการไถพรวนจึงมีความหนาแน่นมาก

3. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน

ปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในดินจุดที่ 1 ที่ติดกับแปลงนาและติดกับลำห้วยแม่ตาวมีปริมาณแคดเมียมสูงสุดคือ 161 mg/kg และในดินจุดที่ 3 มีปริมาณแคดเมียมในดินเท่ากับ 95.0 mg/kg ในขณะที่ดินจุดที่ 4 มีปริมาณแคดเมียมในดินเท่ากับ 4.36 mg/kg จะเห็นได้ว่าในดินจุดที่ 1 และจุดที่ 3 มีปริมาณแคดเมียมในดินมากกว่าดินจุดที่ 4 ถึง 37 เท่า และ 22 เท่าตามลำดับ อาจเป็นเพราะดินอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำแม่ตาว ที่ไหลลงผ่านเหมืองผาแดงมีตะกอนทับถมมากและมักจะพบค่าแคดเมียมในดินล่าง (15-30 ซม.) มีปริมาณแคดเมียมมากกว่าในดินบนแสดงให้เห็นถึงการสะสมของแคดเมียมมาเป็นเวลานานไหลลงสู่ดินล่าง และในดินจุดที่ 4 ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงนั้นมีปริมาณแคดเมียมน้อยกว่าดินจุดอื่นๆ แต่ปริมาณแคดเมียมที่พบก็มีปริมาณมากพอที่ควรเฝ้าระวัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นได้ว่าในดินจุดที่ 1 และในดินจุดที่ 3 มีระดับแคดเมียมที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัดตามมาตรฐานระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอแลนด์ (20 mg/kg)

ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

Soils	Dept (cm)	Bulk Density (g/cm^3)	%Moisture	Particle Size Distribution (%)			Texture Class
				Sand	Silt	Clay	
Soil-1	0-15	1.03	95.44	21.62	56.00	22.42	Sil
	15-30	1.24	63.09	89.14	6.44	4.42	S
	30-50	-	-	27.85	39.55	32.60	CL
	50-70	-	-	26.37	48.17	25.46	Sil
	70-100	-	-	25.02	35.56	39.42	CL
Soil-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
	30-50	-	-	51.24	36.33	12.40	SL
	50-70	-	-	41.39	33.73	24.87	L
	70-100	-	-	66.46	19.71	13.82	SL
Soil-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
	30-50	-	-	46.59	35.55	17.86	L
	50-70	-	-	43.11	36.91	19.99	L
	70-100	-	-	63.80	23.70	12.49	SL

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนด้วยน้ำยาสกัดไฮโดคลอริก (HCl) โดยใช้เทคนิคการชะล้างดิน

4.1 ดินจุดที่ 1 (ดินบริเวณแปลงนา ติดลำห้วยแม่ตาว)

(1) ดินบน (0-15 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 5 จากการศึกษาการชะล้างดินเพื่อกำจัดแคดเมียมจากดินที่ปนเปื้อนพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มจำนวนน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume โดยพบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.34 % ใน Pore Volume ที่ 1 และเพิ่มเป็น 18.2 % ใน Pore Volume ที่ 15 อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดิน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่าง Pore Volume ที่ 14 ถึง Pore Volume ที่ 15 ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง16.6 –18.2%

(2) ดินล่าง (15-30 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 6 จากการศึกษาการชะล้างดินเพื่อกำจัดแคดเมียมจากดินที่ปนเปื้อนพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นมาก เมื่อเพิ่มจำนวนน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume โดยพบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.866 % ใน Pore Volume ที่ 1 และเพิ่มเป็น 20.7% ใน Pore Volume ที่ 15

(3) ปริมาณ Cd ที่เหลือหลังจากการชะล้างดินด้วย HCl

หลังจากจากบำบัด Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 81.81 mg/kg ซึ่งปริมาณแคดเมียมที่พบเกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) และในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 6.44 mg/kg ซึ่งมีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) ดังแสดงในตารางที่ 13

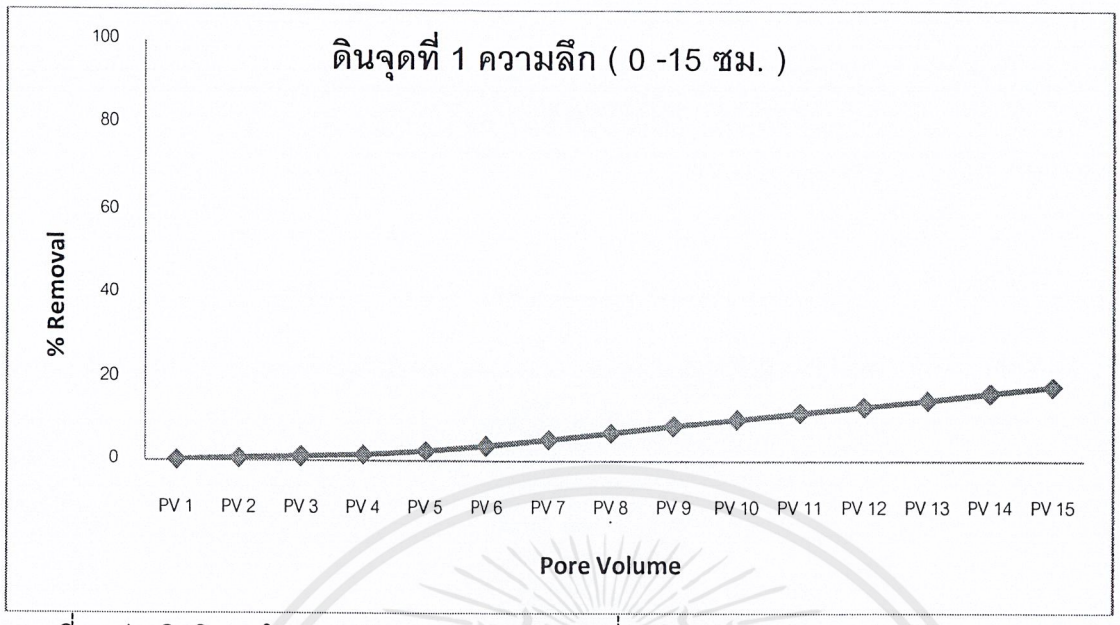
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 1 โดยใช้ HCl ในการสกัด

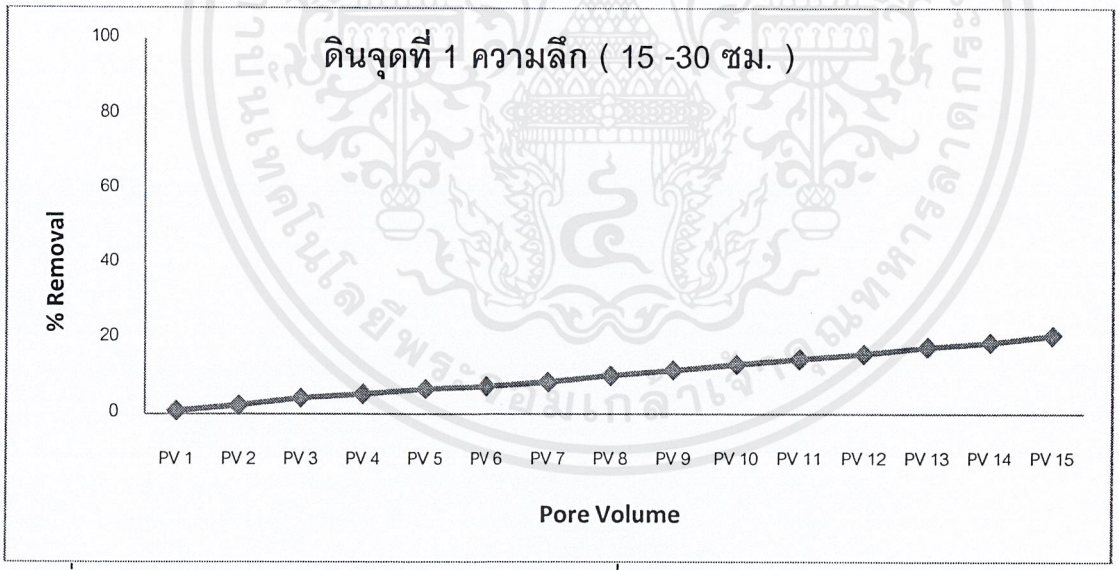
Pore Volume	Removal (%)	
	ชนิดดิน (จุดที่)	
	1 บน	1 ล่าง
1	0.343k	0.866m
2	0.836k	2.31l
3	1.16jk	4.25k
4	1.62jk	5.23k
5	2.54jk	6.66j
6	3.75ij	7.31j
7	5.30hi	8.54i
8	6.97gh	10.2h
9	8.64fg	11.6g
10	10.2ef	13.1f
11	11.8de	14.5e
12	13.3cd	15.8d
13	14.9bc	17.6c
14	16.6ab	18.8b
15	18.2a	20.7a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ HCl ในการสกัด



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (15-30 ซม.) โดยใช้ HCl ในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ดินจุดที่ 2 (ดินบริเวณแปลงปลูกอ้อย)

(1) ดินบน (0-15 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 9 และภาพที่ 7 จากการศึกษาการชะล้างดินเพื่อกำจัดแคดเมียมจากดินที่ปนเปื้อนพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มจำนวนน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume โดยพบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.76% ใน Pore Volume ที่ 1 และเพิ่มเป็น 54.0% ใน Pore Volume ที่ 15 จากการศึกษาการกำจัดแคดเมียมออกจากดินพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด Cd ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่าง Pore Volume ที่ 11 ถึง Pore Volume ที่ 15 ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 38.6– 54.0%

(2) ดินล่าง (15-30 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 9 และภาพที่ 8 จากการศึกษาการชะล้างดินเพื่อกำจัดแคดเมียมจากดินที่ปนเปื้อนพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มจำนวนน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume โดยพบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.16% ใน Pore Volume ที่ 1 และเพิ่มเป็น 28.4 % ใน Pore Volume ที่ 15 อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดิน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่าง Pore Volume ที่ 9 ถึง Pore Volume ที่ 15 ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 14.1 – 28.4 %

(3) ปริมาณ Cd ที่เหลือหลังจากการชะล้างดินด้วย HCl

หลังจากจากบำบัด Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 19.51 mg/kg ซึ่งมีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) และในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 6.70 mg/kg ซึ่งมีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) ดังแสดงในตารางที่ 13

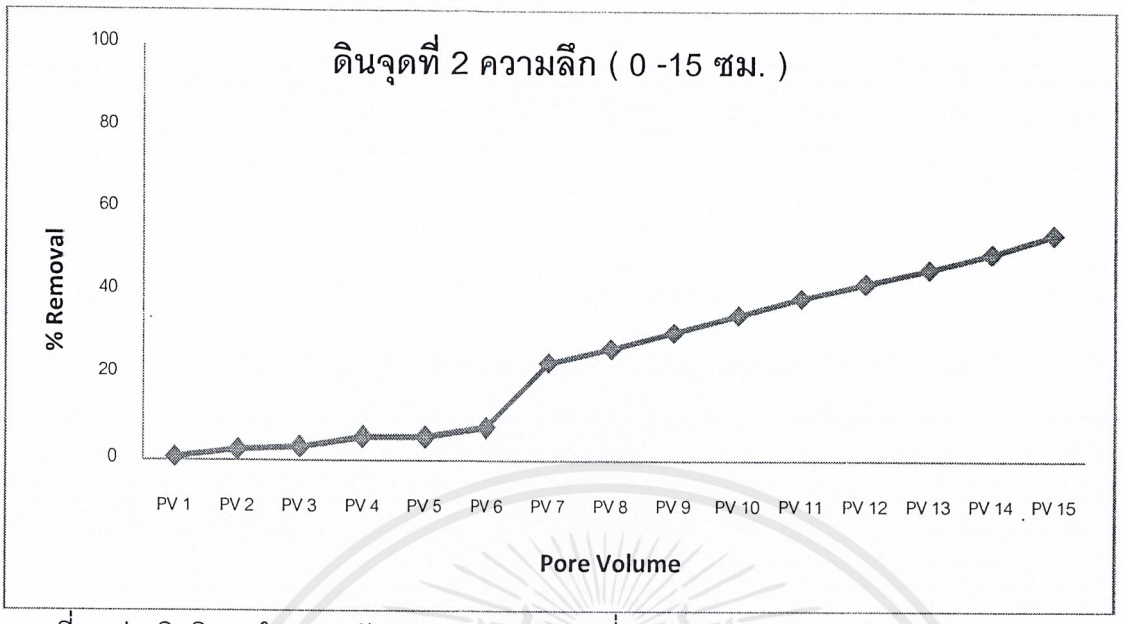
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 2 โดยใช้ HCl ในการสกัด

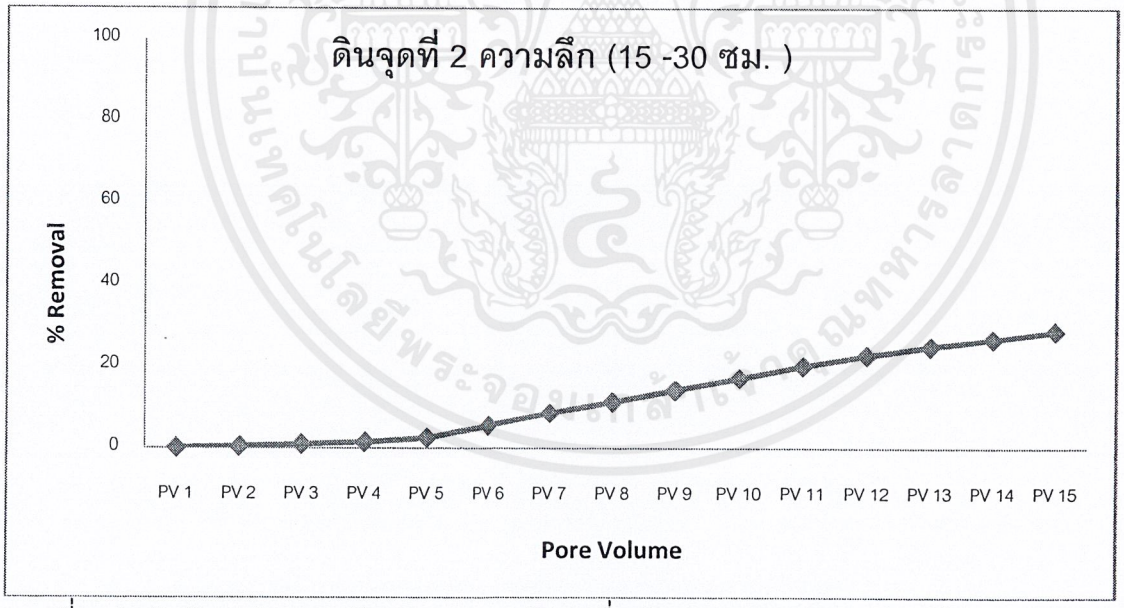
Pore Volume	Removal (%)	
	ชนิดดิน (จุดที่)	
	2 บน	2 ล่าง
1	0.766f	0.160f
2	2.56f	0.506f
3	3.14f	1.01f
4	5.29f	1.49f
5	5.35f	2.54ef
6	7.40f	5.50def
7	22.8e	8.63cdef
8	26.3de	11.3bcdef
9	30.3cde	14.1abcdef
10	34.5bcde	17.0abcde
11	38.6abcde	20.0bcd
12	42.1abcd	22.6abc
13	45.6abc	24.7ab
14	49.4ab	26.5a
15	54.0a	28.4a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ HCl ในการสกัด



ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ HCl ในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ดินจุดที่ 3 (ดินบริเวณหมู่บ้านพะเด๊ะ)

(1) ดินบน (0-15 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 10 และภาพที่ 9 จากการศึกษาการชะล้างดินเพื่อกำจัดแคดเมียมจากดินที่ปนเปื้อนพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มจำนวนน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume โดยพบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.08% ใน Pore Volume ที่ 1 และเพิ่มเป็น 9.64% ใน Pore Volume ที่ 15 ในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินโดยใช้ HCl พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่าง Pore Volume ที่ 14 ถึง Pore Volume ที่ 15 เพราะมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 7.90– 9.64%

(2) ดินล่าง (15-30 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 10 และภาพที่ 10 จากการศึกษาการชะล้างดินเพื่อกำจัดแคดเมียมจากดินที่ปนเปื้อนพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มจำนวนน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume โดยพบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.51% ใน Pore Volume ที่ 1 และเพิ่มเป็น 16.9% ใน Pore Volume ที่ 15 อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดิน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่าง Pore Volume ที่ 5 ถึง Pore Volume ที่ 15 เพราะมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 3.54– 16.91%

(3) ปริมาณ Cd ที่เหลือหลังจากการชะล้างดินด้วย EDTA

หลังจากจากบำบัด Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 22.70 mg/kg ซึ่งปริมาณแคดเมียมที่พบเกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) และในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 51.44 mg/kg ซึ่งปริมาณแคดเมียมที่พบเกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) ดังแสดงในตารางที่ 13

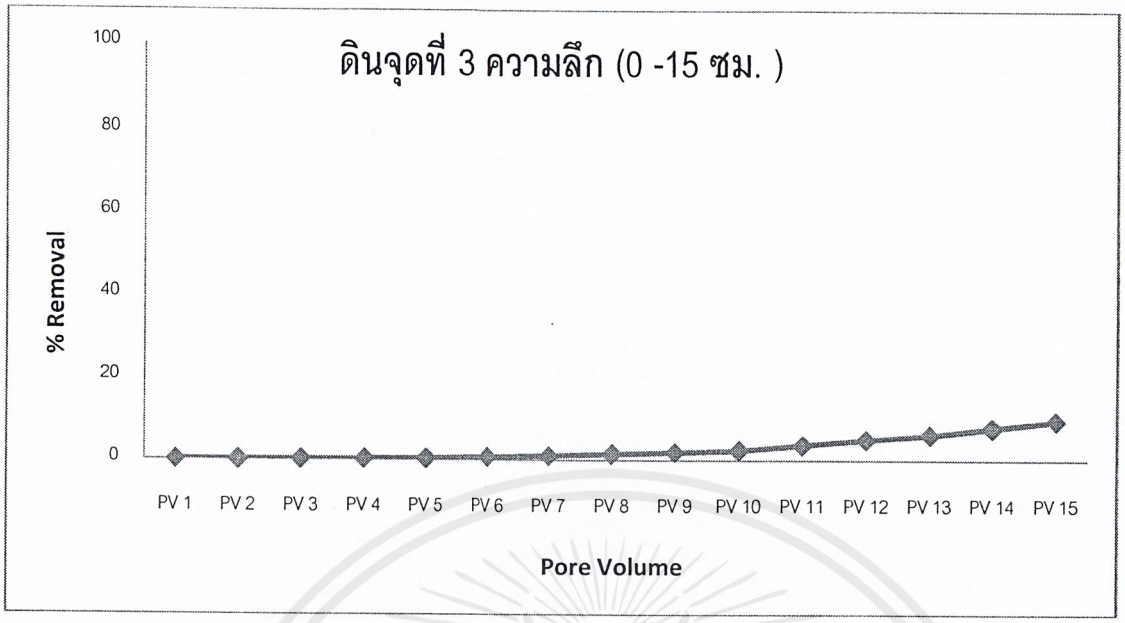
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 3 โดยใช้ HCl ในการสกัด

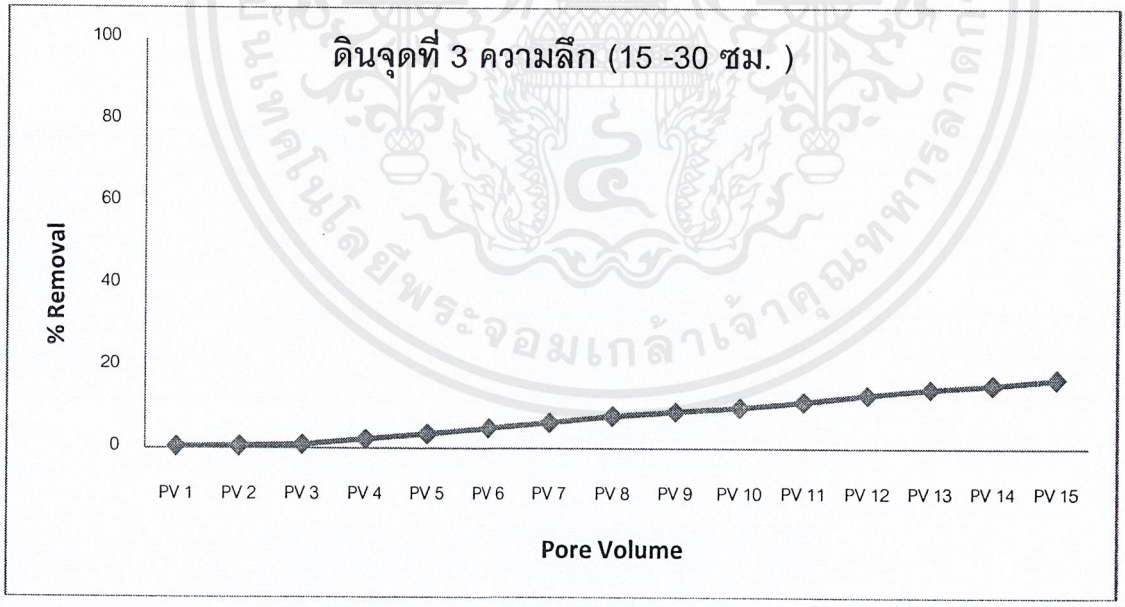
Pore Volume	Removal (%)	
	ชนิดดิน (จุดที่)	
	3 บน	3 ล่าง
1	0.083f	0.516c
2	0.153f	0.610c
3	0.250f	0.983c
4	0.300f	2.30bc
5	0.436f	3.54abc
6	0.793f	4.93abc
7	1.15f	6.36abc
8	1.55ef	7.90abc
9	1.98ef	9.01abc
10	2.41ef	9.96abc
11	3.79de	11.4abc
12	5.13cd	13.1abc
13	6.19bc	14.5ab
14	7.90ab	15.5ab
15	9.64a	16.9a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ HCl ในการสกัด



ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ HCl ในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ดินจุดที่ 4 (ห่างจากลำห้วยแม่ตาว ประมาณ 100 เมตร, จุดดินอ้างอิง)

(1) ดินบน (0-15 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 11 และภาพที่ 11 จากการศึกษาการชะล้างดินเพื่อกำจัดแคดเมียมจากดินที่ปนเปื้อนพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มจำนวนน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume โดยพบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.64% ใน Pore Volume ที่ 1 และเพิ่มเป็น 15.1 % ใน Pore Volume ที่ 15 จากการศึกษาการกำจัดแคดเมียมออกจากดินพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด Cd ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่าง Pore Volume ที่ 12 ถึง Pore Volume ที่ 15 ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 12.7 – 15.1 %

(2) ดินล่าง (15-30 ซม.)

ผลของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัดได้แสดงในตารางที่ 11 และภาพที่ 12 จากการศึกษาการชะล้างดินเพื่อกำจัดแคดเมียมจากดินที่ปนเปื้อนพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มจำนวนน้ำยาสกัดในแต่ละ Pore Volume โดยพบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.61% ใน Pore Volume ที่ 1 และเพิ่มเป็น 15.3% ใน Pore Volume ที่ 15 จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่าง Pore Volume ที่ 14 ถึง Pore Volume ที่ 15 ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 14.8 – 15.3%

(3) ปริมาณ Cd ที่เหลือหลังจากการชะล้างดินด้วย HCl

หลังจากจากบำบัด Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 2.48 mg/kg ซึ่งอยู่ในระดับที่พบในดินทั่วไป (A) และในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 1.40 mg/kg ซึ่งอยู่ในระดับที่พบในดินทั่วไป (A) ดังแสดงในตารางที่ 13

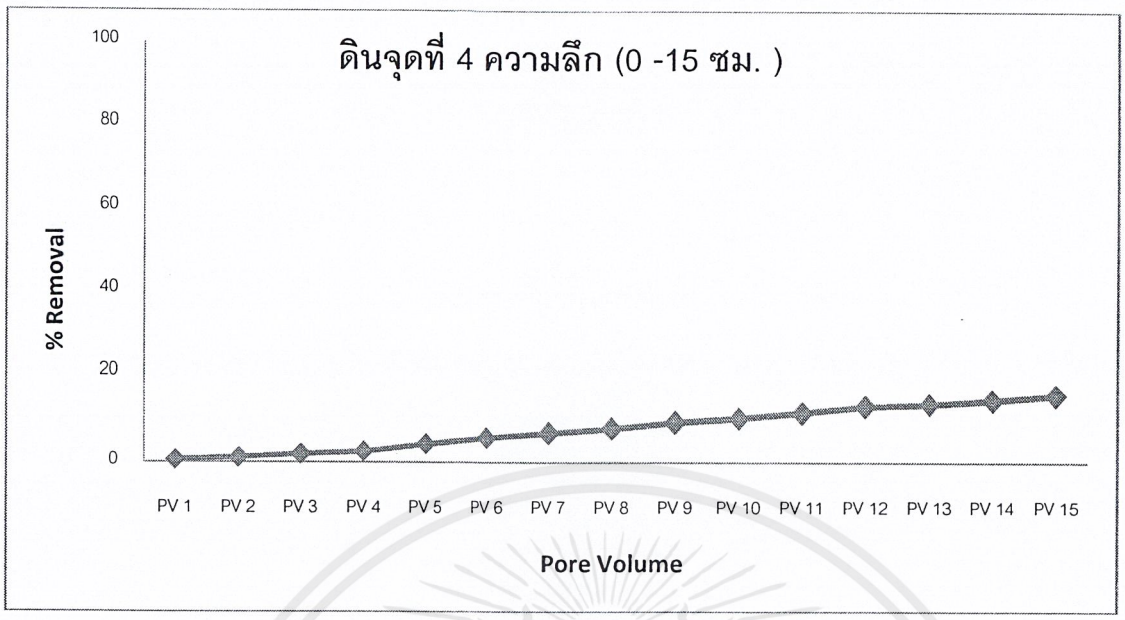
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดิน (% Removal) จุดที่ 4 โดยใช้ HCl ในการสกัด

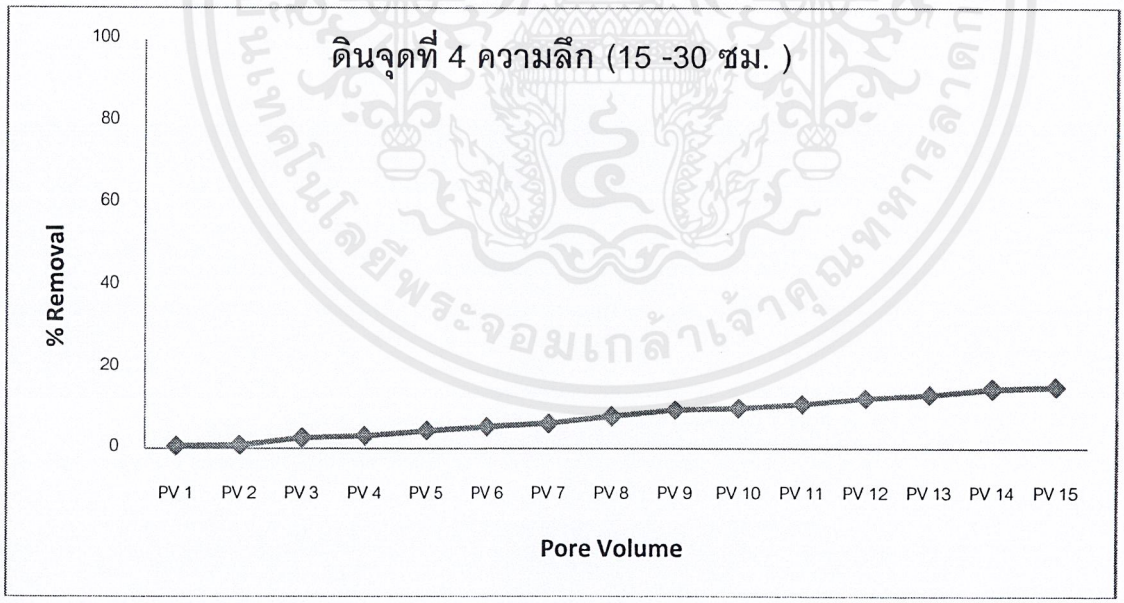
Pore Volume	Removal (%)	
	ชนิดดิน (จุดที่)	
	4 บน	4 ล่าง
1	0.646j	0.610j
2	1.30j	0.886j
3	2.08ij	2.71i
4	2.72ij	3.14hi
5	4.40hi	4.41gh
6	5.91gh	5.45fg
7	6.97fgh	6.32f
8	7.98efg	7.98e
9	9.31def	9.58d
10	10.2cde	9.98cd
11	11.4bcd	11.0c
12	12.7abc	12.5b
13	13.2ab	13.3b
14	14.0ab	14.8a
15	15.1a	15.3a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 11 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15 ซม.) โดยใช้ HCl ในการสกัด



ภาพที่ 12 ประสิทธิภาพในการสกัด Cd ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30 ซม.) โดยใช้ HCl ในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้ง 4 จุด ในการพิจารณาระดับการปนเปื้อน

Soils	Dept (cm)	ระดับการปนเปื้อน (mg Cd kg^{-1}) A*	B	C
Soil -1	0-15	≤ 13.07	13.08 - 20	≥ 20
	15-30	≤ 4.24	4.25 - 20	≥ 20
Soil -2	0-15	≤ 13.07	13.08 - 20	≥ 20
	15-30	≤ 4.24	4.25 - 20	≥ 20
Soil -3	0-15	≤ 7.00	7.00 - 20	≥ 20
	15-30	≤ 5.78	5.79 - 20	≥ 20
Soil -4	0-15	≤ 9.73	9.74 - 20	≥ 20
	15-30	≤ 9.23	9.24 - 20	≥ 20

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

A= ปริมาณที่พบในดินทั่วไป
B= ปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง
C= ปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด

ตารางที่ 15 ปริมาณแคดเมียมในดินที่เหลือหลังผ่านการบำบัดโดยเทคนิคการชะล้างดิน

Soil	Dept (cm.)	Cd remained in soil (mg/kg^{-1})
Soil – 1	0 -15	81.81 (C)
	15 -30	6.44 (B)
Soil – 2	0 -15	19.51 (B)
	15 -30	6.70 (B)
Soil – 3	0 -15	22.70 (C)
	15 -30	51.44 (C)
Soil - 4	0 -15	2.48 (A)
	15 -30	1.40 (A)

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

2) A= ปริมาณที่พบในดินทั่วไป
B= ปริมาณที่ควรเฝ้าระวัง
C= ปริมาณที่เกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) หลังผ่านการบำบัดโดยเทคนิคการชะล้างดิน

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) หลังจากผ่านการบำบัดโดยเทคนิคการชะล้างดินได้แสดงในตารางที่ 14 โดยพบว่า ในจุดที่ 1 ในดินบนมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.15-6) ส่วนในดินล่างมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในระดับเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง (pH 5.71-5.81) ในจุดที่ 2 พบว่าในดินบนมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่อนข้างเป็นกรด (pH 4.30-4.51) ส่วนในดินล่างมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในระดับเป็นกรดปานกลางถึงกรดมาก (pH 3.89-4.14) ในจุดที่ 3 พบว่าในดินบนมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อยถึงกรดปานกลาง (pH 5.84-6.02) ส่วนในดินล่างมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในระดับเป็นกรดเล็กน้อยถึงกรดปานกลาง (pH 5.89-5.97) และในจุดที่ 4 พบว่าในดินบนมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นกรด (pH 4.23-4.44) ส่วนในดินล่างมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นกรดมากถึงกรดกลางกลาง (pH 3.98-4.32)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) หลังผ่านการบำบัดโดยเทคนิคการชะล้างดิน

ชนิดดิน		ค่า pH
1 บน	Rep 1	6
	Rep 2	5.20
	Rep 3	5.15
1 ล่าง	Rep 1	5.71
	Rep 2	5.81
	Rep 3	5.73
2 บน	Rep 1	4.32
	Rep 2	4.51
	Rep 3	4.30
2 ล่าง	Rep 1	3.89
	Rep 2	4.14
	Rep 3	4.07
3 บน	Rep 1	5.84
	Rep 2	5.88
	Rep 3	6.02
3 ล่าง	Rep 1	5.59
	Rep 2	5.97
	Rep 3	5.87
4 บน	Rep 1	4.38
	Rep 2	4.23
	Rep 3	4.44
4 ล่าง	Rep 1	3.98
	Rep 2	4.05
	Rep 3	4.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในดินทั้ง 4 จุด พบว่าดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง, ดินร่วนเหนียว ,ดินร่วนปนทราย และดินร่วน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดินทั้ง 3 จุดนั้น มีความเป็นด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง และดินบางจุดมีความเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง และค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) พบว่า ดินทั้ง 4 จุดไม่มีความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) ดินทั้ง 4 จุดมีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ดินทั้ง 4 จุดมีค่าอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงสูง ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable base) ของดินทั้ง 4 จุดนั้น Ca มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูง K มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง และNa มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูงมาก และค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (% BS) ของดินทั้ง 4 จุดนั้น มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก

จากการศึกษาการชะล้างดินโดยใช้ HCl ในการสกัดแคดเมียมออกจากดิน พบว่าในจุดที่ 1 ในดินบนสามารถสกัดออกมาได้ 18.2% สำหรับดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 20.7% หลังจากจากบำบัด Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 81.81 mg/kg ซึ่งปริมาณแคดเมียมที่พบเกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) และในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 6.44 mg/kg ซึ่งมีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) และหลังการบำบัดพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในระดับเป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างเล็กน้อย (pH 5.15-6.00)

ในกรณีของจุดที่ 2 พบว่าในดินบนสามารถสกัดออกมาได้ 54.0% สำหรับดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 28.4% หลังจากจากบำบัด Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 19.51 mg/kg ซึ่งมีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) และในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 6.70 mg/kg ซึ่งมีปริมาณแคดเมียมที่ควรเฝ้าระวัง (B) และหลังการบำบัดพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในระดับเป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างเล็กน้อย (pH 3.89-4.51)

ในจุดที่ 3 พบว่าในดินบนสามารถสกัดออกมาได้ 9.64% สำหรับดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 16.9 % และหลังจากจากบำบัด Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 22.70 mg/kg ซึ่งปริมาณแคดเมียมที่พบเกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) และในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 51.44 mg/kg ซึ่งปริมาณแคดเมียมที่พบเกินมาตรฐานควรได้รับการบำบัด (C) และหลังการบำบัดพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในระดับเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย (pH 5.84-6.02)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในจุดที่ 4 พบว่าในดินบนสามารถสกัดออกมาได้ 15.1 % สำหรับดินล่างสามารถสกัดออกมาได้ 15.3 % และหลังจากจากบำบัด Cd ออกจากดินพบว่า ในดินบนมี Cd เหลืออยู่ 2.48 mg/kg ซึ่งอยู่ในระดับที่พบในดินทั่วไป (A) และในดินล่างมี Cd เหลืออยู่ 1.40 mg/kg ซึ่งอยู่ในระดับที่พบในดินทั่วไป (A) และหลังการบำบัดพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในระดับเป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างเล็กน้อย (pH 3.98-4.44)

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.

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Allen.,H , Huang.,C,Bailey.,G and Bowers.,A. 1994. **Metel Speciation andContamination 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.**,Vol13, 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 แสดงค่าวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแต่ละจุด (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+})

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความ แตกต่าง โดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 1

จุดที่ 1 ดินบน

removal1

Duncan

		Subset for alpha = 0.05										
treat	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
pv1	3	0.343										
pv2	3	0.834										
pv3	3	1.16	1.16									
pv4	3	1.62	1.62									
pv5	3	2.54	2.54									
pv6	3		3.75	3.75								
pv7	3			5.30	5.30							
pv8	3				6.97	6.97						
pv9	3					8.64	8.64					
pv10	3						10.2	10.2				
pv11	3							11.8	11.8			
pv12	3								13.3	13.3		
pv13	3									14.9	14.9	
pv14	3										16.6	16.6
pv15	3											18.2
Sig.		.124	.064	.223	.190	.188	.197	.221	.223	.210	.198	.202

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

จุดที่ 1 ดินล่าง

removal2

Duncan

treat	N	Subset for alpha = 0.05												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
pv1	3	0.866												
pv2	3		2.31											
pv3	3			4.25										
pv4	3			5.23										
pv5	3				6.66									
pv6	3				7.31									
pv7	3					8.54								
pv8	3						10.2							
pv9	3							11.6						
pv10	3								13.1					
pv11	3									14.5				
pv12	3										15.8			
pv13	3											17.6		
pv14	3												18.8	
pv15	3													20.7
Sig.		1.000	1.000	.089	.256	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 2

จุดที่ 2 ดินบน

removal3

Duncan

treat	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
pv1	3	0.766					
pv2	3	2.56					
pv6	3	3.14					
pv3	3	5.29					
pv5	3	5.35					
pv4	3	7.40					
pv7	3		22.8				
pv8	3		26.3	26.3			
pv9	3		30.3	30.3	30.3		
pv10	3		34.5	34.5	34.5	34.5	
pv11	3		38.6	38.6	38.6	38.6	38.6
pv12	3			42.1	42.1	42.1	42.1
pv13	3				45.6	45.6	45.6
pv14	3					49.4667	49.4
pv15	3						54.0
Sig.		.442	.065	.066	.074	.081	.072

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

จุดที่ 2 ดินล่าง

removal4

Duncan

treat	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
pv1	3	0.160					
pv2	3	0.506					
pv3	3	1.01					
pv4	3	1.49					
pv5	3	2.54	2.54				
pv6	3	5.50	5.50	5.50			
pv7	3	8.63	8.63	8.63	8.63		
pv8	3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	
pv9	3	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1
pv10	3		17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
pv11	3			20.0	20.0	20.0	20.0
pv12	3				22.6	22.6	22.6
pv13	3					24.7	24.7
pv14	3						26.5
pv15	3						28.4
Sig.		.073	.056	.056	.065	.076	.061

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 3

จุดที่ 3 ดินบน

removal5

Duncan

		Subset for alpha = 0.05					
treat	N	1	2	3	4	5	6
pv1	3	0.083					
pv2	3	0.153					
pv3	3	0.250					
pv4	3	0.300					
pv5	3	0.436					
pv6	3	0.793					
pv7	3	1.15					
pv8	3	1.55	1.55				
pv9	3	1.98	1.98				
pv10	3	2.41	2.41				
pv11	3		3.79	3.79			
pv12	3			5.13	5.13		
pv13	3				6.19	6.19	
pv14	3					7.90	7.90
pv15	3						9.64
Sig.		.077	.068	.227	.337	.125	.120

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

จุดที่ 3 ดินล่าง

removal6

Duncan

treat	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
pv1	3	0.516		
pv2	3	0.610		
pv3	3	0.983		
pv4	3	2.30	2.30	
pv5	3	3.54	3.54	3.54
pv6	3	4.93	4.93	4.93
pv7	3	6.36	6.36	6.36
pv8	3	7.90	7.90	7.90
pv9	3	9.01	9.01	9.01
pv10	3	9.96	9.96	9.96
pv11	3	11.4	11.4	11.4
pv12	3	13.1	13.1	13.1
pv13	3		14.5	14.5
pv14	3		15.5	15.5
pv15	3			16.9
Sig.		.066	.053	.051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0 ของดินจุดที่ 4

จุดที่ 4 ดินบน

removal7

Duncan

		Subset for alpha = 0.05									
treat	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pv1	3	0.646									
pv2	3	1.30									
pv3	3	2.08	2.08								
pv4	3	2.72	2.72								
pv5	3		4.40	4.40							
pv6	3			5.91	5.91						
pv7	3			6.97	6.97	6.97					
pv8	3				7.98	7.98	7.98				
pv9	3					9.31	9.31	9.31			
pv10	3						10.2	10.2	10.2		
pv11	3							11.4	11.4	11.4	
pv12	3								12.7	12.7	12.7
pv13	3									13.2	13.2
pv14	3									14.0	14.0
pv15	3										15.1
Sig.		.152	.099	.069	.140	.098	.103	.129	.085	.073	.100

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

จุดที่ 4 ดินล่าง

removal8

Duncan

treat	N	Subset for alpha = 0.05									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pv1	3	0.610									
pv2	3	0.886									
pv3	3		2.71								
pv4	3		3.14	3.14							
pv5	3			4.41	4.41						
pv6	3				5.45	5.45					
pv7	3					6.32					
pv8	3						7.98				
pv9	3							9.58			
pv10	3							9.98	9.98		
pv11	3								11.0		
pv12	3									12.5	
pv13	3									13.3	
pv14	3										14.8
pv15	3										15.3
Sig.		.676	.514	.062	.122	.194	1.000	.543	.109	.259	.414

Means for groups in homogeneous subsets
are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่1บน

Lab No.	ดินจุดที่	Pv ที่	ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง AA	Dilution	ความเข้มข้น cd (ppm)
1	1บน	1/1/บน	0.360	1	0.389
2	1บน	1/2/บน	0.020	1	0.011
3	1บน	1/3/บน	0.482	1	0.519
4	1บน	2/1/บน	1.540	1	0.833
5	1บน	2/2/บน	0.194	1	0.103
6	1บน	2/3/บน	0.350	1	0.379
7	1บน	3/1/บน	1.170	1	0.633
8	1บน	3/2/บน	0.315	1	0.168
9	1บน	3/3/บน	0.160	1	0.087
10	1บน	4/1/บน	0.430	1	0.233
11	1บน	4/2/บน	1.690	1	0.914
12	1บน	4/3/บน	0.166	1	0.087
13	1บน	5/1/บน	1.870	1	1.011
14	1บน	5/2/บน	1.960	1	1.060
15	1บน	5/3/บน	0.690	1	0.373
16	1บน	6/1/บน	0.559	2	1.596
17	1บน	6/2/บน	0.853	1	0.460
18	1บน	6/3/บน	0.223	2	1.206
19	1บน	7/1/บน	1.530	5	1.909
20	1บน	7/2/บน	0.691	2	1.125
21	1บน	7/3/บน	0.644	2	1.103
22	1บน	8/1/บน	1.515	2	1.585
23	1บน	8/2/บน	1.322	2	1.552
24	1บน	8/3/บน	0.045	2	1.325
25	1บน	9/1/บน	0.703	2	1.590
26	1บน	9/2/บน	0.035	5	1.569
27	1บน	9/3/บน	0.484	2	1.325
28	1บน	10/1/บน	0.041	2	1.493
29	1บน	10/2/บน	1.823	2	1.520
30	1บน	10/3/บน	0.632	2	1.368
31	1บน	11/1/บน	0.445	2	1.352
32	1บน	11/2/บน	1.982	2	1.471
33	1บน	11/3/บน	1.409	2	1.331
34	1บน	12/1/บน	1.047	2	1.352
35	1บน	12/2/บน	0.978	2	1.466
36	1บน	12/3/บน	0.940	2	1.314
37	1บน	13/1/บน	0.054	2	1.093
38	1บน	13/2/บน	1.002	2	1.487
39	1บน	13/3/บน	1.445	5	1.682
40	1บน	14/1/บน	0.985	2	1.217
41	1บน	14/2/บน	1.027	2	1.504
42	1บน	14/3/บน	1.765	5	1.655
43	1บน	15/1/บน	1.221	2	1.201
44	1บน	15/2/บน	0.277	2	1.498
45	1บน	15/3/บน	1.303	5	1.639

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่1ล่าง

Lab No.	ดินจุดที่	Pv ที่	ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง AA	Dilution	ความเข้มข้น cd (ppm)
46	1ล่าง	1/1/ล่าง	1.210	1	0.522
47	1ล่าง	1/2/ล่าง	1.335	2	2.011
48	1ล่าง	1/3/ล่าง	0.190	1	0.082
49	1ล่าง	2/1/ล่าง	1.347	5	2.943
50	1ล่าง	2/2/ล่าง	1.920	1	0.829
51	1ล่าง	2/3/ล่าง	1.174	5	3.384
52	1ล่าง	3/1/ล่าง	0.290	5	2.848
53	1ล่าง	3/2/ล่าง	0.396	5	1.618
54	1ล่าง	3/3/ล่าง	1.210	5	1.735
55	1ล่าง	4/1/ล่าง	0.310	2	1.139
56	1ล่าง	4/2/ล่าง	0.468	5	1.726
57	1ล่าง	4/3/ล่าง	1.315	5	1.571
58	1ล่าง	5/1/ล่าง	0.304	5	1.303
59	1ล่าง	5/2/ล่าง	0.466	5	1.640
60	1ล่าง	5/3/ล่าง	1.331	5	1.666
61	1ล่าง	6/1/ล่าง	0.170	2	1.204
62	1ล่าง	6/2/ล่าง	0.770	5	1.605
63	1ล่าง	6/3/ล่าง	1.134	5	1.502
64	1ล่าง	7/1/ล่าง	1.395	2	1.252
65	1ล่าง	7/2/ล่าง	0.790	5	1.774
66	1ล่าง	7/3/ล่าง	1.148	5	1.631
67	1ล่าง	8/1/ล่าง	1.360	5	1.515
68	1ล่าง	8/2/ล่าง	0.155	5	1.933
69	1ล่าง	8/3/ล่าง	0.998	5	1.912
70	1ล่าง	9/1/ล่าง	1.440	5	1.506
71	1ล่าง	9/2/ล่าง	1.140	5	1.921
72	1ล่าง	9/3/ล่าง	1.430	5	1.903
73	1ล่าง	10/1/ล่าง	1.537	5	1.567
74	1ล่าง	10/2/ล่าง	1.148	5	1.925
75	1ล่าง	10/3/ล่าง	1.520	5	1.921
76	1ล่าง	11/1/ล่าง	1.212	5	1.631
77	1ล่าง	11/2/ล่าง	1.917	5	1.929
78	1ล่าง	11/3/ล่าง	1.058	5	1.912
79	1ล่าง	12/1/ล่าง	1.170	5	1.627
80	1ล่าง	12/2/ล่าง	1.420	5	1.921
81	1ล่าง	12/3/ล่าง	1.030	5	1.916
82	1ล่าง	13/1/ล่าง	1.220	5	1.761
83	1ล่าง	13/2/ล่าง	1.494	5	1.869
84	1ล่าง	13/3/ล่าง	0.980	5	1.882
85	1ล่าง	14/1/ล่าง	1.258	5	1.774
86	1ล่าง	14/2/ล่าง	1.518	5	1.886
87	1ล่าง	14/3/ล่าง	1.010	5	1.882
88	1ล่าง	15/1/ล่าง	1.477	5	1.778
89	1ล่าง	15/2/ล่าง	1.370	5	1.886
90	1ล่าง	15/3/ล่าง	1.465	5	1.882

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 8 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่2บน

Lab No.	ดินจุดที่	Pv ที่	ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง AA	Dilution	ความเข้มข้น cd (ppm)
91	2บน	1/1/บน	0.517	1	0.201
92	2บน	1/2/บน	0.131	1	0.102
93	2บน	1/3/บน	0.388	1	0.299
94	2บน	2/1/บน	1.690	1	1.330
95	2บน	2/2/บน	0.100	1	0.079
96	2บน	2/3/บน	0.010	1	0.004
97	2บน	3/1/บน	0.521	1	0.409
98	2บน	3/2/บน	1.550	1	1.220
99	2บน	3/3/บน	1.324	1	0.519
100	2บน	4/1/บน	1.451	2	4.683
101	2บน	4/2/บน	1.384	2	1.031
102	2บน	4/3/บน	1.732	1	0.681
103	2บน	5/1/บน	1.880	2	0.838
104	2บน	5/2/บน	0.367	2	0.791
105	2บน	5/3/บน	1.720	1	0.677
106	2บน	6/1/บน	0.115	2	0.866
107	2บน	6/2/บน	1.963	1	0.771
108	2บน	6/3/บน	1.826	1	0.716
109	2บน	7/1/บน	0.324	2	0.952
110	2บน	7/2/บน	0.431	2	0.838
111	2บน	7/3/บน	0.633	2	0.944
112	2บน	8/1/บน	0.545	2	0.960
113	2บน	8/2/บน	0.671	2	0.858
114	2บน	8/3/บน	0.660	2	0.956
115	2บน	9/1/บน	0.615	2	1.011
116	2บน	9/2/บน	0.170	2	1.169
117	2บน	9/3/บน	0.770	2	0.929
118	2บน	10/1/บน	1.135	2	1.118
119	2บน	10/2/บน	1.394	2	1.157
120	2บน	10/3/บน	0.799	2	1.007
121	2บน	11/1/บน	1.140	2	1.145
122	2บน	11/2/บน	1.363	2	1.086
123	2บน	11/3/บน	0.100	2	1.031
124	2บน	12/1/บน	0.997	2	1.031
125	2บน	12/2/บน	1.440	2	0.787
126	2บน	12/3/บน	1.146	2	0.921
127	2บน	13/1/บน	1.437	2	1.019
128	2บน	13/2/บน	1.534	2	0.803
129	2บน	13/3/บน	1.140	2	0.937
130	2บน	14/1/บน	1.522	2	1.094
131	2บน	14/2/บน	1.441	2	0.925
132	2บน	14/3/บน	1.987	2	0.984
133	2บน	15/1/บน	1.400	5	1.346
134	2บน	15/2/บน	0.758	2	1.161
135	2บน	15/3/บน	0.143	2	1.094

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 9 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่2ล่าง

Lab No.	ดินจุดที่	Pv ที่	ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง AA	Dilution	ความเข้มข้น cd (ppm)
136	2ล่าง	1/1/ล่าง	0.020	1	0.007
137	2ล่าง	1/2/ล่าง	0.010	1	0.003
138	2ล่าง	1/3/ล่าง	0.080	1	0.028
139	2ล่าง	2/1/ล่าง	0.025	1	0.007
140	2ล่าง	2/2/ล่าง	0.158	1	0.052
141	2ล่าง	2/3/ล่าง	0.076	1	0.024
142	2ล่าง	3/1/ล่าง	0.055	1	0.017
143	2ล่าง	3/2/ล่าง	0.199	1	0.066
144	2ล่าง	3/3/ล่าง	0.117	1	0.038
145	2ล่าง	4/1/ล่าง	0.048	1	0.014
146	2ล่าง	4/2/ล่าง	0.195	1	0.066
147	2ล่าง	4/3/ล่าง	0.196	1	0.035
148	2ล่าง	5/1/ล่าง	0.266	1	0.091
149	2ล่าง	5/2/ล่าง	0.187	1	0.063
150	2ล่าง	5/3/ล่าง	0.280	1	0.098
151	2ล่าง	6/1/ล่าง	1.046	1	0.362
152	2ล่าง	6/2/ล่าง	0.557	1	0.192
153	2ล่าง	6/3/ล่าง	0.459	1	0.157
154	2ล่าง	7/1/ล่าง	1.158	1	0.401
155	2ล่าง	7/2/ล่าง	0.550	1	0.192
156	2ล่าง	7/3/ล่าง	0.460	1	0.160
157	2ล่าง	8/1/ล่าง	1.177	1	0.408
158	2ล่าง	8/2/ล่าง	0.290	1	0.101
159	2ล่าง	8/3/ล่าง	0.390	1	0.136
160	2ล่าง	9/1/ล่าง	1.210	1	0.422
161	2ล่าง	9/2/ล่าง	0.310	1	0.108
162	2ล่าง	9/3/ล่าง	0.470	1	0.139
163	2ล่าง	10/1/ล่าง	1.31	1	0.456
164	2ล่าง	10/2/ล่าง	0.300	1	0.105
165	2ล่าง	10/3/ล่าง	0.445	1	0.139
166	2ล่าง	11/1/ล่าง	1.336	1	0.463
167	2ล่าง	11/2/ล่าง	0.328	1	0.111
168	2ล่าง	11/3/ล่าง	0.445	1	0.139
169	2ล่าง	12/1/ล่าง	0.633	1	0.219
170	2ล่าง	12/2/ล่าง	0.578	1	0.174
171	2ล่าง	12/3/ล่าง	0.676	1	0.233
172	2ล่าง	13/1/ล่าง	0.664	1	0.230
173	2ล่าง	13/2/ล่าง	0.473	1	0.164
174	2ล่าง	13/3/ล่าง	0.345	1	0.118
175	2ล่าง	14/1/ล่าง	0.788	1	0.244
176	2ล่าง	14/2/ล่าง	0.240	1	0.084
177	2ล่าง	14/3/ล่าง	0.285	1	0.098
178	2ล่าง	15/1/ล่าง	0.878	1	0.279
179	2ล่าง	15/2/ล่าง	0.236	1	0.080
180	2ล่าง	15/3/ล่าง	0.345	1	0.105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 10 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่3บน

Lab No.	ดินจุดที่	Pv ที่	ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง AA	Dilution	ความเข้มข้น cd (ppm)
181	3บน	1/1/บน	0.070	1	0.023
182	3บน	1/2/บน	0.086	1	0.026
183	3บน	1/3/บน	0.050	1	0.016
184	3บน	2/1/บน	0.087	1	0.026
185	3บน	2/2/บน	0.057	1	0.016
186	3บน	2/3/บน	0.045	1	0.013
187	3บน	3/1/บน	0.068	1	0.019
188	3บน	3/2/บน	0.128	1	0.039
189	3บน	3/3/บน	0.059	1	0.016
190	3บน	4/1/บน	0.040	1	0.013
191	3บน	4/2/บน	0.050	1	0.016
192	3บน	4/3/บน	0.039	1	0.010
193	3บน	5/1/บน	0.145	1	0.032
194	3บน	5/2/บน	0.094	1	0.029
195	3บน	5/3/บน	0.135	1	0.042
196	3บน	6/1/บน	0.058	1	0.016
197	3บน	6/2/บน	0.280	1	0.065
198	3บน	6/3/บน	0.617	1	0.198
199	3บน	7/1/บน	0.055	1	0.016
200	3บน	7/2/บน	0.199	1	0.062
201	3บน	7/3/บน	0.600	1	0.194
202	3บน	8/1/บน	0.264	1	0.084
203	3บน	8/2/บน	0.435	1	0.139
204	3บน	8/3/บน	0.287	1	0.091
205	3บน	9/1/บน	0.254	1	0.081
206	3บน	9/2/บน	0.677	1	0.194
207	3บน	9/3/บน	0.177	1	0.055
208	3บน	10/1/บน	0.255	1	0.081
209	3บน	10/2/บน	0.610	1	0.198
210	3บน	10/3/บน	0.170	1	0.055
211	3บน	11/1/บน	0.770	1	0.250
212	3บน	11/2/บน	1.135	1	0.366
213	3บน	11/3/บน	1.395	1	0.450
214	3บน	12/1/บน	0.756	1	0.227
215	3บน	12/2/บน	1.148	1	0.369
216	3บน	12/3/บน	1.369	1	0.441
217	3บน	13/1/บน	0.108	1	0.032
218	3บน	13/2/บน	0.998	1	0.321
219	3บน	13/3/บน	1.440	1	0.467
220	3บน	14/1/บน	1.148	1	0.369
221	3บน	14/2/บน	1.437	1	0.463
222	3บน	14/3/บน	1.537	1	0.496
223	3บน	15/1/บน	1.148	1	0.369
224	3บน	15/2/บน	1.520	1	0.493
225	3บน	15/3/บน	1.490	1	0.483

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 11 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่3ล่าง

Lab No.	ดินจุดที่	Pv ที่	ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง AA	Dilution	ความเข้มข้น cd (ppm)
226	3ล่าง	1/1/ล่าง	0.380	1	0.110
227	3ล่าง	1/2/ล่าง	0.155	1	0.145
228	3ล่าง	1/3/ล่าง	0.540	1	0.784
229	3ล่าง	2/1/ล่าง	0.079	1	0.041
230	3ล่าง	2/2/ล่าง	0.058	1	0.073
231	3ล่าง	2/3/ล่าง	0.156	1	0.087
232	3ล่าง	3/1/ล่าง	0.050	1	0.029
233	3ล่าง	3/2/ล่าง	0.166	1	0.145
234	3ล่าง	3/3/ล่าง	0.989	1	0.569
235	3ล่าง	4/1/ล่าง	0.410	1	0.596
236	3ล่าง	4/2/ล่าง	1.186	1	1.714
237	3ล่าง	4/3/ล่าง	0.637	1	0.366
238	3ล่าง	5/1/ล่าง	0.360	1	0.523
239	3ล่าง	5/2/ล่าง	1.180	1	1.714
240	3ล่าง	5/3/ล่าง	0.465	1	0.267
241	3ล่าง	6/1/ล่าง	0.440	1	0.639
242	3ล่าง	6/2/ล่าง	1.458	1	2.106
243	3ล่าง	6/3/ล่าง	0.100	1	0.058
244	3ล่าง	7/1/ล่าง	0.440	1	0.639
245	3ล่าง	7/2/ล่าง	1.459	1	2.106
246	3ล่าง	7/3/ล่าง	0.096	1	0.131
247	3ล่าง	8/1/ล่าง	0.669	1	0.349
248	3ล่าง	8/2/ล่าง	1.555	1	2.251
249	3ล่าง	8/3/ล่าง	0.882	1	0.511
250	3ล่าง	9/1/ล่าง	0.663	1	0.383
251	3ล่าง	9/2/ล่าง	1.134	2	1.238
252	3ล่าง	9/3/ล่าง	1.055	1	0.610
253	3ล่าง	10/1/ล่าง	0.676	1	0.389
254	3ล่าง	10/2/ล่าง	1.150	2	1.249
255	3ล่าง	10/3/ล่าง	1.050	1	0.305
256	3ล่าง	11/1/ล่าง	1.640	1	0.953
257	3ล่าง	11/2/ล่าง	1.674	5	1.755
258	3ล่าง	11/3/ล่าง	1.307	1	0.378
259	3ล่าง	12/1/ล่าง	1.628	1	0.941
260	3ล่าง	12/2/ล่าง	1.280	2	1.656
261	3ล่าง	12/3/ล่าง	1.240	1	0.720
262	3ล่าง	13/1/ล่าง	1.686	1	0.976
263	3ล่าง	13/2/ล่าง	1.291	2	1.708
264	3ล่าง	13/3/ล่าง	0.262	1	0.076
265	3ล่าง	14/1/ล่าง	0.674	2	0.648
266	3ล่าง	14/2/ล่าง	0.682	2	0.761
267	3ล่าง	14/3/ล่าง	0.483	2	0.648
268	3ล่าง	15/1/ล่าง	0.831	2	0.654
269	3ล่าง	15/2/ล่าง	0.681	2	1.511
270	3ล่าง	15/3/ล่าง	1.210	2	0.636

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 12 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่4บน

Lab No.	ดินจุดที่	Pv ที่	ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง AA	Dilution	ความเข้มข้น cd (ppm)
271	4บน	1/1/บน	0.640	1	0.187
272	4บน	1/2/บน	0.750	1	0.219
273	4บน	1/3/บน	0.397	1	0.114
274	4บน	2/1/บน	0.645	1	0.187
275	4บน	2/2/บน	0.748	1	0.216
276	4บน	2/3/บน	0.403	1	0.117
277	4บน	3/1/บน	0.784	1	0.228
278	4บน	3/2/บน	1.250	1	0.351
279	4บน	3/3/บน	0.835	1	0.243
280	4บน	4/1/บน	0.750	1	0.219
281	4บน	4/2/บน	1.208	1	0.351
282	4บน	4/3/บน	0.821	1	0.240
283	4บน	5/1/บน	1.216	1	0.354
284	4บน	5/2/บน	1.916	1	0.559
285	4บน	5/3/บน	1.057	1	0.307
286	4บน	6/1/บน	1.176	1	0.342
287	4บน	6/2/บน	1.428	1	0.415
288	4บน	6/3/บน	1.030	1	0.301
289	4บน	7/1/บน	1.220	1	0.357
290	4บน	7/2/บน	1.490	1	0.436
291	4บน	7/3/บน	0.983	1	0.287
292	4บน	8/1/บน	1.256	1	0.366
293	4บน	8/2/บน	1.512	1	0.442
294	4บน	8/3/บน	1.013	1	0.295
295	4บน	9/1/บน	1.475	1	0.430
296	4บน	9/2/บน	1.033	1	0.301
297	4บน	9/3/บน	0.676	1	0.196
298	4บน	10/1/บน	1.124	1	0.328
299	4บน	10/2/บน	0.951	1	0.278
300	4บน	10/3/บน	0.822	1	0.234
301	4บน	11/1/บน	1.280	1	0.374
302	4บน	11/2/บน	1.088	1	0.316
303	4บน	11/3/บน	0.967	1	0.281
304	4บน	12/1/บน	1.394	1	0.406
305	4บน	12/2/บน	1.170	1	0.342
306	4บน	12/3/บน	0.993	1	0.290
307	4บน	13/1/บน	0.010	1	0.003
308	4บน	13/2/บน	0.542	1	0.158
309	4บน	13/3/บน	1.014	1	0.295
310	4บน	14/1/บน	1.016	1	0.295
311	4บน	14/2/บน	0.436	1	0.126
312	4บน	14/3/บน	1.273	1	0.371
313	4บน	15/1/บน	0.990	1	0.290
314	4บน	15/2/บน	0.433	1	0.126
315	4บน	15/3/บน	1.270	1	0.371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 13 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นcdในดินจุดที่4ล่าง

Lab No.	ดินจุดที่	Pv ที่	ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง AA	Dilution	ความเข้มข้น cd (ppm)
316	4ล่าง	1/1/ล่าง	0.610	1	0.166
317	4ล่าง	1/2/ล่าง	0.528	1	0.141
318	4ล่าง	1/3/ล่าง	0.365	1	0.081
319	4ล่าง	2/1/ล่าง	0.521	1	0.141
320	4ล่าง	2/2/ล่าง	0.610	1	0.166
321	4ล่าง	2/3/ล่าง	0.300	1	0.081
322	4ล่าง	3/1/ล่าง	0.350	1	0.095
323	4ล่าง	3/2/ล่าง	0.684	1	0.185
324	4ล่าง	3/3/ล่าง	0.690	1	0.187
325	4ล่าง	4/1/ล่าง	0.345	1	0.092
326	4ล่าง	4/2/ล่าง	0.683	1	0.185
327	4ล่าง	4/3/ล่าง	0.692	1	0.187
328	4ล่าง	5/1/ล่าง	0.945	1	0.255
329	4ล่าง	5/2/ล่าง	0.873	1	0.236
330	4ล่าง	5/3/ล่าง	0.374	1	0.100
331	4ล่าง	6/1/ล่าง	0.787	1	0.212
332	4ล่าง	6/2/ล่าง	0.748	1	0.201
333	4ล่าง	6/3/ล่าง	0.430	1	0.117
334	4ล่าง	7/1/ล่าง	0.811	1	0.220
335	4ล่าง	7/2/ล่าง	0.741	1	0.201
336	4ล่าง	7/3/ล่าง	0.430	1	0.117
337	4ล่าง	8/1/ล่าง	0.750	1	0.204
338	4ล่าง	8/2/ล่าง	0.444	1	0.119
339	4ล่าง	8/3/ล่าง	1.250	1	0.339
340	4ล่าง	9/1/ล่าง	0.710	1	0.193
341	4ล่าง	9/2/ล่าง	0.443	1	0.119
342	4ล่าง	9/3/ล่าง	1.281	1	0.347
343	4ล่าง	10/1/ล่าง	0.676	1	0.182
344	4ล่าง	10/2/ล่าง	0.681	1	0.185
345	4ล่าง	10/3/ล่าง	0.487	1	0.130
346	4ล่าง	11/1/ล่าง	0.833	1	0.225
347	4ล่าง	11/2/ล่าง	0.683	1	0.185
348	4ล่าง	11/3/ล่าง	0.512	1	0.138
349	4ล่าง	12/1/ล่าง	0.897	1	0.242
350	4ล่าง	12/2/ล่าง	0.724	1	0.195
351	4ล่าง	12/3/ล่าง	0.554	1	0.149
352	4ล่าง	13/1/ล่าง	0.710	1	0.190
353	4ล่าง	13/2/ล่าง	0.560	1	0.152
354	4ล่าง	13/3/ล่าง	0.760	1	0.206
355	4ล่าง	14/1/ล่าง	0.550	1	0.149
356	4ล่าง	14/2/ล่าง	0.443	1	0.119
357	4ล่าง	14/3/ล่าง	0.730	1	0.198
358	4ล่าง	15/1/ล่าง	0.550	1	0.149
359	4ล่าง	15/2/ล่าง	0.440	1	0.119
360	4ล่าง	15/3/ล่าง	0.743	1	0.201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้