ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

ภาควิชาปฐพีวิทยา

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าโดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

Lead removal from soils via lab-scale soil washing technique using EDTA as extracting solution

โดย

นางสาวกนกอร วัลลีย์ลักษณ์

.....

(ดร.นุกูล ถวิลถึง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาควิชารับรองแล้ว

.....

(รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม)

หัวหน้าภาควิชาปฐพีวิทยา

วันที่ 8 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 1136

หอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าโดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

Lead removal from soils via lab-scale soil washing technique using EDTA as extracting solution

T099867

โดย

นางสาวกนกอร วัลลีย์ลักษณ์

วพ.
ก124ก
2548
ฉ.1
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

เสนอ

ภาควิชาปฐพีวิทยา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต(ปฐพีวิทยา)

พ.ศ.2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง	การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าโดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด
ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ	Lead Removal from soils via lab-scale soil washing technique using EDTA as extracting solution
โดย	นางสาวกนกอร วัลลีย์ลักษณ์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตร์ (เกษตรศาสตร์)
ภาควิชา	ปฐพีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. นุกูล ถวิลถึง

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของ EDTA ในการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (soil washing) โดยเก็บดิน 4 จุดจากบริเวณโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่ ชื่อ กิมหลีหล่อหลอมโลหะ ที่จังหวัดระยอง (จุดที่1 ติดกับโรงงาน, จุดที่ 2 ห่างจากโรงงานประมาณ 100 เมตร, จุดที่ 3 ห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร และจุดที่ 4 ห่างจากโรงงานประมาณ 1,000 เมตร) ซึ่งดินแต่ละจุดจะเก็บที่ 2 ระดับความลึกคือ 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน และทำการสกัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้วิธีการล้างดิน (soil washing) ด้วยน้ำยาสกัด EDTA ซึ่งใช้สัดส่วนความเข้มข้นของน้ำยาสกัดต่อปริมาณตะกั่ว (EDTA:Pb) ที่แตกต่างกันดังนี้ 0.5:1, 1:1, 2:1, 3:1, 5:1 และ 10:1 เพื่อศึกษาหาสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง EDTA:Pb ที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดตะกั่วออกจากดินได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

จากการทดลองพบว่าเป็นดินร่วนปนทรายและดินร่วนเหนียวปนทรายมี clay 11-21% มีค่า pH เป็นกรดจัดมากถึงปานกลางและค่า EC, OM, CEC, Ca, Mg, K และ Na อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ส่วนประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัดจะเห็นได้ว่า สัดส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วออกจากดินได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด จะแตกต่างกันในดินแต่ละจุดทั้งดินบนและดินล่าง ซึ่งสัดส่วนที่เหมาะสมในดินจุดที่ 1 และ 3 มีทั้งสัดส่วนความเข้มข้น 10:1, 5:1 และ 3:1 โดยสามารถกำจัดตะกั่วออกมาได้ 89.0, 77.1 และ 87.8% ตามลำดับ ในขณะที่จุดที่ 2 และ 4 ใช้สัดส่วนความเข้มข้นเดียวกันคือ 10:1 ที่สามารถกำจัดตะกั่วได้ 90.1 และ 61.5% ตามลำดับ และเมื่อวัด pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วออกจากดินด้วย EDTA พบว่าดินมีฤทธิ์ความเป็นกรดรุนแรงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดินเป็นดินเปรี้ยวมีผลต่อการเกษตรกรรม ทั้งนี้จึงควรปรับปรุงดินโดยใส่ปูนขาวก่อนทำการเพาะปลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์นุกูล ถวิลถึง อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษที่กรุณาชี้แนะและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการทำปัญหาพิเศษเรื่องนี้ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านของการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณนุจรี บุญแปลง และคุณนารี พันธุ์จินดาวรรณ ที่คอยสอนและแนะนำในด้านการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ รวมถึงคุณสมจิตร มั่งนาค ที่อำนวยความสะดวกในการเบิกและคืนอุปกรณ์ต่างๆ ขอบคุณเพื่อนๆ ภาควิชาปฐพีวิทยา รุ่น 18 และพืชไร่ (เกษตรเจ้าคุณ รุ่นที่ 31) ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ รวมทั้งขอขอบพระคุณบรรดาญาติ - พี่น้องทุกท่าน ที่ให้ทุกๆ อย่างอันเป็นที่มาแห่งความสำเร็จของข้าพเจ้า

นางสาวกนกอร วัลลีย์ลักษณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญรูป	V
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ตรวจเอกสาร	3-21
อุปกรณ์และวิธีการ	22-30
ผลการทดลอง	31-54
สรุปผลการทดลอง	55
เอกสารอ้างอิง	56-58
ภาคผนวก A แสดงค่าวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+})	59-61
ภาคผนวก B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb , ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด , ประสิทธิ์ภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด	62-75
ภาคผนวก C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินแต่ละจุด	76-92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 3.1	สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้สารลดแรงตึงผิวในการล้างดินในสถานที่	17
ตารางที่ 3.2	แสดงปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินที่ไม่ควรเกินค่ามาตราฐาน Dutch	21
ตารางที่ 5.1	คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 1	32
ตารางที่ 5.2	คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 2	32
ตารางที่ 5.3	คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 3	33
ตารางที่ 5.4	คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 4	33
ตารางที่ 5.5	คุณสมบัติทางกายภาพของดิน	35
ตารางที่ 5.6	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	40
ตารางที่ 5.7	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	41
ตารางที่ 5.8	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	42
ตารางที่ 5.9	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	43
ตารางที่ 5.10	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	44
ตารางที่ 5.11	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	45
ตารางที่ 5.12	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	46
ตารางที่ 5.13	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	47
ตารางที่ 5.14	pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินโดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1 A	แสดงค่าวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินแต่ละจุด (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+})	60-61
ตารางที่ 1 B	แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด	63-75
ตารางที่ 1 C	ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 cm)	77
ตารางที่ 1.1 C	อนุภาคขนาด <2.0 mm.	77
ตารางที่ 1.2 C	อนุภาคขนาด 0.5 mm.	77
ตารางที่ 1.3 C	อนุภาคขนาด 0.1 mm.	78
ตารางที่ 1.4 C	อนุภาคขนาด <0.1 mm.	78
ตารางที่ 2 C	ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 cm)	79
ตารางที่ 2.1 C	อนุภาคขนาด <2.0 mm.	79
ตารางที่ 2.2 C	อนุภาคขนาด 0.5 mm.	79
ตารางที่ 2.3 C	อนุภาคขนาด 0.1 mm.	80
ตารางที่ 2.4 C	อนุภาคขนาด <0.1 mm.	80
ตารางที่ 3 C	ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm)	81
ตารางที่ 3.1C	อนุภาคขนาด <2.0 mm.	81
ตารางที่ 3.2 C	อนุภาคขนาด 0.5 mm.	81
ตารางที่ 3.3 C	อนุภาคขนาด 0.1 mm.	82
ตารางที่ 3.4 C	อนุภาคขนาด <0.1 mm.	82
ตารางที่ 4 C	ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 2 ดินบน (15-30 cm)	83
ตารางที่ 4.1 C	อนุภาคขนาด <2.0 mm.	83
ตารางที่ 4.2 C	อนุภาคขนาด 0.5 mm.	83
ตารางที่ 4.3 C	อนุภาคขนาด 0.1 mm.	84
ตารางที่ 4.4 C	อนุภาคขนาด <0.1 mm.	84
ตารางที่ 5 C	ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm)	85
ตารางที่ 5.1C	อนุภาคขนาด <2.0 mm.	85
ตารางที่ 5.2 C	อนุภาคขนาด 0.5 mm.	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm. 86
ตารางที่ 5.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm. 86
ตารางที่ 6 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 cm) 87
ตารางที่ 6.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm. 87
ตารางที่ 6.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm. 87
ตารางที่ 6.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm. 88
ตารางที่ 6.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm. 88
ตารางที่ 7 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15 cm) 89
ตารางที่ 7.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm. 89
ตารางที่ 7.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm. 89
ตารางที่ 7.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm. 90
ตารางที่ 7.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm. 90
ตารางที่ 8 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30 cm) 91
ตารางที่ 8.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm. 91
ตารางที่ 8.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm. 91
ตารางที่ 8.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm. 92
ตารางที่ 8.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm. 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
รูปที่ 3.1	แสดงการปนเปื้อนตะกั่วจากการประกอบอาชีพ	4
รูปที่ 3.2	แสดงการปนเปื้อนตะกั่วจากอากาศ	4
รูปที่ 3.3	แสดงแหล่งปนเปื้อนตะกั่วจากแหล่งต่าง ๆ	5
รูปที่ 3.4	แสดงเส้นทางการเข้าสู่ร่างกาย	8
รูปที่ 3.5	แสดงลักษณะแนวเส้นตะกั่วบริเวณเหงือก (Lead line)	9
รูปที่ 3.6	แสดงอาการทางระบบประสาทส่วนปลาย	10
รูปที่ 3.7	แสดงตะกั่วที่สะสมในร่างกาย	10
รูปที่ 3.8	แผนภาพแสดงการล้างดิน	12
รูปที่ 3.9	แสดงรูปแบบหลักของการล้างดินทั่วไป	13
รูปที่ 3.10	แสดงระบบการล้างไล่สารปนเปื้อนแบบฉีดไหลวน	18
รูปที่ 3.11	ตัวอย่างแสดงภาพตัดขวางของการล้างไล่สารปนเปื้อนในดิน	18
รูปที่ 4.1	แผนที่แสดงที่ตั้งโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าและตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน	24
รูปที่ 4.2	แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน	28
รูปที่ 4.3	แสดงขั้นตอนการสกัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (soil washing)	29
รูปที่ 5.1	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	40
รูปที่ 5.2	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	41
รูปที่ 5.3	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	42
รูปที่ 5.4	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	43
รูปที่ 5.5	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	44
รูปที่ 5.6	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ 5.7	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	46
รูปที่ 5.8	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	47
รูปที่ 5.9	pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	51
รูปที่ 5.10	pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	51
รูปที่ 5.11	pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	52
รูปที่ 5.12	pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	52
รูปที่ 5.13	pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	53
รูปที่ 5.14	pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	53
รูปที่ 5.15	pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	54
รูปที่ 5.16	pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าโดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

Lead removal from soils via lab-scale soil washing technique using EDTA as extracting solution

1. คำนำ

โลหะหนักนับเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเมื่อปนเปื้อนสู่ระบบสิ่งแวดล้อมแล้วจะไม่มีการย่อยสลายตัวทำให้คงอยู่ได้นาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตะกั่วซึ่งมีการนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมากมาย เช่น โรงงานแบตเตอรี่ ในอุตสาหกรรมอิเล็คทรอนิก และคอมพิวเตอร์, การถลุงแร่, จากไอเสียรถยนต์, โรงงานทำสีทาบ้าน, สนามยิงปืน และการทำเหมืองตะกั่ว ซึ่งถ้ายิ่งปนเปื้อนในระบบสิ่งแวดล้อมจะมีผลกระทบต่อมนุษย์ โดยเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดผลเสียต่อระบบการทำงานในอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย เช่น ในระบบเลือด ทำให้เม็ดเลือดแดงผิดปกติและแตกง่าย โลหิตจาง มีอาการอ่อนเพลีย ระบบประสาท ทำให้เนื้อสมองบวม มีอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ในรายที่เป็นเรื้อรังอาจเกิดภาวะไตวาย และไตพิการ ระบบสืบพันธุ์ ทำให้อสุจิของเพศชายและไข่ของเพศหญิงผิดปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าพบในเด็กจะเป็นอันตรายมากแม้ว่าจะพบในปริมาณความเข้มข้นน้อยก็ตาม ในประเทศไทยพบว่ามีปัญหาของการปนเปื้อนตะกั่วในดินมาจาก 2 แหล่งคือ การทำเหมืองตะกั่วที่ อ. ทองผาภูมิ จ. กาญจนบุรี มีการปนเปื้อนตะกั่วในตะกอนดินสูงถึง 33,491 mg/kg. และอีกแหล่งหนึ่งจากโรงงานหลอมแบตเตอรี่ โดยดินบริเวณโรงงานในระยะ 1-2 km. มีการปนเปื้อนตะกั่วสูงถึง 1,500-7,000 mg/kg. (จากกรมโรงงานอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2542)

ในดินที่มีการปนเปื้อนของตะกั่วจะทำการกำจัดออกได้ยากมาก เนื่องจากมีการดูดซับการตกตะกอนและมีการจับกับอินทรียวัตถุเป็นสารประกอบที่ซับซ้อน ดังนั้นเราจึงเห็นความสำคัญในการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ซึ่งในการกำจัดตะกั่วออกจากดินนั้นมีอยู่หลายวิธี และวิธีที่นิยมใช้คือการล้างดิน **(soil washing)** และ การชะล้างดิน **(soil flushing)** โดยการล้างดิน **(soil washing)** เป็นการกำจัดโดยขุดดินขึ้นมา และนำมาล้างด้วยน้ำยาสกัด โดยปกติแล้วจะทำการแยกขนาดอนุภาคก่อน เพราะว่าความสามารถในการกำจัดตะกั่วออกจากดินในแต่ละขนาดแตกต่างกัน ส่วนการชะล้างดิน **(soil flushing)** เป็นการกำจัดโดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายดินออกจากพื้นที่ โดยนิยมใช้กรดและสารประกอบคีเลตเป็นน้ำยาสกัด สาเหตุที่ใช้กรดในการกำจัดตะกั่วออกจากดิน เนื่องจาก H^+ สามารถที่จะไปไล่ที่ Pb^{2+} ได้ ส่วนในกรณีสารประกอบคีเลตจะไปจับกับตะกั่วและชะละลายออกไป และกรดที่นิยมใช้ในการกำจัดตะกั่วออกจากดินคือ HCl, HNO_3 ส่วนสารประกอบคีเลตที่มีการศึกษาและนำมาใช้ คือ EDTA, DTPA ซึ่งความสามารถในการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยน้ำยาสกัดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน, ชนิดของดิน, สัดส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมระหว่างโมล (mole) ของน้ำยาสกัด: mole ของตะกั่วในดิน, ปริมาณ pH ของน้ำยาสกัด, ปริมาณ silt และ clay เนื่องจากดินแต่ละแห่งมีการปนเปื้อนตะกั่วในปริมาณที่แตกต่างกันและมีคุณสมบัติที่ต่างกัน ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากดินในแต่ละแห่งจึงมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไปด้วย

เอกสารนี้ผลิตขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสัดส่วนความเข้มข้นของน้ำยาสกัดต่อปริมาณตะกั่ว (EDTA:Pb) ที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วออกจากดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่วจากบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าโดยวิธีการล้างดิน (soil washing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตรวจเอกสาร

3.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับโลหะตะกั่ว

ตะกั่ว (Lead, Pb) เป็นโลหะหนักชนิดหนึ่ง มีความหนาแน่นสูง มีความมันวาว สีขาวปนน้ำเงิน มีน้ำหนักมาก อ่อนตัวสูง มีจุดหลอมเหลวต่ำ สภาพการนำไฟฟ้าต่ำ มีคุณสมบัติต้านการกัดกร่อนได้ดี ดังนั้นจึงใช้ทำวัสดุบรรจุกรดซัลฟูริก นอกจากนี้ยังใช้ตะกั่วเป็นโลหะผสมในโลหะอื่น ได้แก่ พลวง ทองแดง และ เหล็ก เป็นต้น เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการกลึงไส (มนัส, 2536) โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังนี้

สัญลักษณ์ทางเคมี Pb	ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 20°C) 11.34 g/cm^2
จุดหลอมเหลว 327.35 °C	ความร้อนจำเพาะ (25 °C) 26.650 J/(mol·K)
จุดเดือด 2022 K(1749 °C)	จุดเดือดกลายเป็นไอ 1740°C
สี ขาวปนน้ำเงิน	น้ำหนักอะตอม 207.22
ความเค้นแรงดึง 1.5 kg/mm^2	พิกัดความยืดหยุ่น 0.3 kg/mm^2
อัตรายืดตัว 60%	ความแข็ง 5 HB
โครงสร้างผลึก cubic face centered	

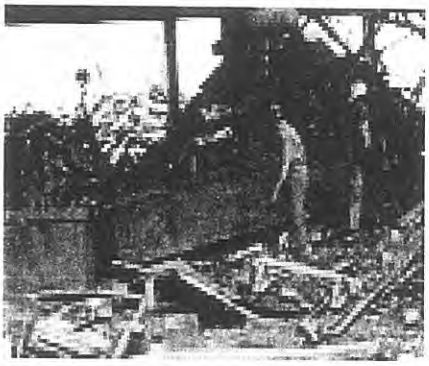
3.2 แหล่งกำเนิดสารพิษตะกั่ว

(1) แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ สารตะกั่วในธรรมชาตินั้นมาจากฝุ่นซิลิเกตของการผุสลายของดิน และการปล่อยออกมาจากภูเขาไฟ แหล่งที่สำคัญได้แก่ หินอัคนี (igneous) และหินแปร (metamorphic)

(2) แหล่งกำเนิดที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ที่มาจากหลากหลายแหล่ง อาทิเช่น

2.1) แหล่งจากการประกอบอาชีพ ได้แก่ การทำเหมืองตะกั่ว อุตสาหกรรมอิเล็คโทรนิคและคอมพิวเตอร์ การนำของเก่าที่มีตะกั่วผสมอยู่มาหลอมใช้ใหม่ การบรรทุกหรือขนถ่ายสิ่งของที่มีฝุ่นตะกั่วผสมอยู่ การทำให้ตะกั่วบริสุทธิ์ การผลิตบรอนซ์ตะกั่ว สีตะกั่ว ตะกั่วผง และตะกั่วในรูปอื่นๆ การผลิตแก้วที่มีตะกั่วปนอยู่ การทาหรือพ่นสีกันสนิม การใช้สารประกอบของตะกั่วในรูปที่เป็นผง ผลิตแบตเตอรี่ การชุบโลหะ การทำเครื่องปั้นดินเผา การทำและบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช การเรียงพิมพ์ การเติมน้ำมัน การใช้น้ำมันเบนซินทำความสะอาดเครื่องยนต์กลไกต่างๆ ซึ่งแหล่งจากการประกอบอาชีพเป็นแหล่งที่สารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายคนได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงการปนเปื้อนตะกั่วจากการประกอบอาชีพ

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Lead

2.2) แหล่งจากอากาศที่ปนเปื้อนตะกั่ว โดยทั่วไปแล้วการหายใจเอาตะกั่วในอากาศนั้นเป็นทางได้รับตะกั่วที่สำคัญที่พักอาศัย และการจราจรจะมีผลอย่างมาก โดยระดับตะกั่วจะสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรเฉลี่ยในแต่ละวันของถนนสายสำคัญ ใกล้บ้าน นอกจากนั้นสถานีบริการน้ำมันเป็นแหล่งกำเนิดทำให้อากาศปนเปื้อนตะกั่วได้

รูปที่ 3.2 แสดงการปนเปื้อนตะกั่วจากอากาศ

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Lead

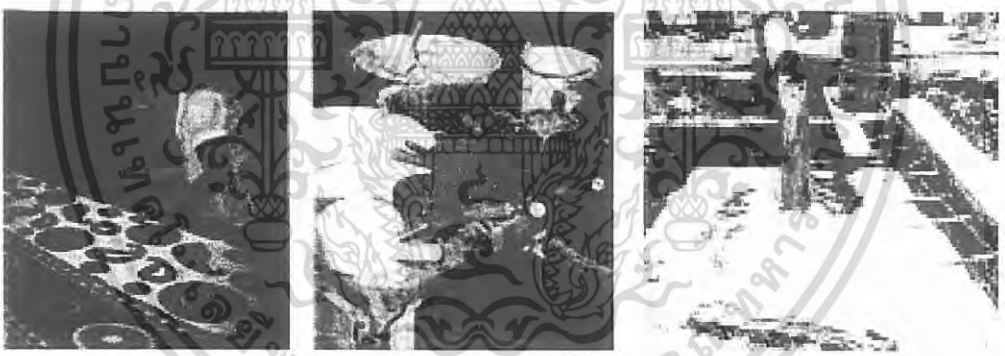
2.3) แหล่งจากดินและฝุ่น ดินและฝุ่นได้รับตะกั่วโดยการสะสมจากตะกั่วในอากาศที่ได้รับจากรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งอื่นๆรวมทั้งแผ่นสีเก่าหลุดสะสมในดินโดยตะกั่วที่สะสม มักจะอยู่บริเวณผิวดิน จะพบมากในเด็กที่มีพฤติกรรมชอบสำรวจซึ่งจะทำให้เด็กเหล่านี้มีโอกาสที่จะได้รับตะกั่วจากดินและฝุ่นโดยการกินและสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4) แหล่งอาหารและน้ำดื่ม พืชผลที่เจริญเติบโตบริเวณสถานีบริการน้ำมันหรือใกล้ทางสัญจรจะมีความเข้มข้นของตะกั่วที่สะสมจากตะกั่วในอากาศมากกว่าพืชผลที่เจริญเติบโตในบริเวณอื่นตะกั่วสามารถสะสมในอาหารระหว่างขบวนการผลิตการขนส่ง อาหารกระป๋อง โดยเฉพาะอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด จะสามารถละลายส่วนที่เป็นตะกั่วจากกระป๋องที่บรรจุได้ ตะกั่วในน้ำดื่มส่วนใหญ่ได้มาจากการละลายจากท่อประปาที่มีตะกั่วผสมอยู่ โดยเฉพาะถ้าน้ำดังกล่าวมีฤทธิ์เป็นกรดด้วย

2.5) แหล่งจากเครื่องถ้วยชามที่เคลือบปนด้วยสารตะกั่ว ในสหรัฐอเมริกามีการรายงานการเป็นพิษของตะกั่วอยู่หลายครั้ง จากแหล่งเครื่องถ้วยชามนี้ เพราะเครื่องถ้วยชามสามารถปล่อยตะกั่วจำนวนมากไปในอาหารและเครื่องดื่มได้ โดยเฉพาะชิ้นที่มีการแตกร้าว หรือแม้แต่มีการใช้มากและล้างขัดมาก

2.6) แหล่งสีที่มีตะกั่วเป็นพื้น เป็นแหล่งที่ให้ตะกั่วปริมาณสูงโดยน้ำหนักของสีขณะแห้ง เด็กที่อาศัยอยู่ในบ้านที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่วหรือบ้านที่ทาสีด้วยสีที่มีตะกั่ว ทั้งสีภายในและภายนอกเป็นเด็กที่เสี่ยงต่อการได้รับตะกั่ว ยิ่งถ้าสีเหล่านั้นเก่าและมีการหลุดลอกออกจะเกิดชิ้นเล็กๆ และมีฝุ่นตะกั่วผสมอยู่ตามพื้นทำให้ได้รับตะกั่วเข้าไปสะสมในร่างกายได้



รูปที่ 3.3 แสดงแหล่งปนเปื้อนตะกั่วจากแหล่งต่าง ๆ

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Lead

2.7) สีจากแหล่งอื่นๆตะกั่วสามารถพบในยาแผนโบราณ เช่น ยาจีนหลายชนิด ซึ่งเราอาจได้รับตะกั่วจำนวนมากๆต่อครั้งได้ อาจได้รับจากการสูดดมน้ำมันก๊าซโซลีน การเผาน้ำมันที่ทิ้งแล้วจากกระดาษหนังสือพิมพ์ สีจากเปลือกแบตเตอรี่ ในเครื่องสำอางที่ผลิตขึ้นอย่างไม่เหมาะสมบางชนิด การใช้น้ำมันหล่อลื่นบางชนิดที่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงร้อยละ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การผลิตตะกั่ว

การผลิตตะกั่วจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ตะกั่วปฐมภูมิ (primary lead) และตะกั่วทุติยภูมิ (secondary lead) ประเภทแรกนั้นเป็นการผลิตตะกั่วจากการถลุงแร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกาลีนา (PbS) แล้วหลอมให้บริสุทธิ์ ส่วนประเภทหลังนั้นเป็นการหลอมเศษตะกั่ว ส่วนใหญ่ ได้แก่ แบตเตอรี่ แล้วนำกลับมาใช้ใหม่อีก ในการผลิตทั้ง 2 ประเภทนั้นทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนสารตะกั่วในสภาวะแวดล้อม ทั้งดิน น้ำ และอากาศ นอกจากนั้นยังมีผลต่อเนื่องไปยังประชาชนผู้อยู่ในบริเวณใกล้เคียงอีกด้วย

สารตะกั่วที่ผลิตได้จะนำไปใช้ในการทำแบตเตอรี่เป็นหลัก นอกจากนั้นจะนำไปใช้ในการทำตะกั่วแอลกิลเพื่อผสมในน้ำมันเบนซินเป็นสาร antiknock ทำสายเคเบิล และผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น สี ยากำจัดศัตรูพืช ตะกั่วอาร์เซเนท (lead arsenate) ตลอดจนการทำโลหะผสมต่างๆ

น้ำมันผสมตะกั่วอินทรีย์ คือ ก. ตะกั่วเตตราแอลกิล ได้แก่ ตะกั่วเตตราเมธิล (tetra-methyl lead) ตะกั่วเตตราเอธิล (tetraethyl lead) และ ข. ตะกั่วแอลกิลไตรเอธิลเมธิลผสม (mixed alkylstriethylmethyl lead) คือ ตะกั่วไดเอธิลเมธิล และตะกั่วเอธิลไตรเมธิล

ส่วนใหญ่ใช้ตะกั่วแอลกิล คือ ตะกั่วเตตราเอธิล และตะกั่วเตตราเมธิล เป็นสารผสมในรถยนต์ สารประกอบตะกั่วอินทรีย์ทั้งสองเป็นของเหลว ไม่มีสี และระเหยกลายเป็นไอได้น้อยกว่าน้ำมัน จุดเดือดของตะกั่วเตตราเมธิลเป็น 110 ^{0}ซ และตะกั่วเตตราเอธิลเป็น 200° ซ.

ตะกั่วอินทรีย์ในน้ำมันเบนซินแตกตัวระหว่างการสันดาปในเครื่องยนต์และกลายรูปเป็นตะกั่วอนินทรีย์และ 78% ของตะกั่วซึ่งใช้ในน้ำมันรถยนต์ออกสู่บรรยากาศทางท่อไอเสียในรูปสารประกอบตะกั่วอนินทรีย์ ปริมาณตะกั่วจะเพิ่มมากขึ้นในขณะขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูง และจะลดน้อยลงเมื่อรถเดินเครื่องอยู่กับที่หรือเมื่อไปๆ หยุดๆ ส่วนที่เหลือ 20-25% ยังคงตกค้างอยู่ในท่อไอเสีย ตะกั่วอนินทรีย์ซึ่งระบายออกทางท่อไอเสียนี้อยู่ในรูปของอนุภาคมลสาร ส่วนตะกั่วเตตราแอลกิล อยู่ในรูปไอมีส่วนน้อยจะถูกดูดซับติดกับอนุภาคมลสาร จะแยกตะกั่วอนินทรีย์ออกได้ด้วยการกรองตัวอย่างอากาศ ดังนั้นอนุภาคมลสารขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอนจะตกลงสู่พื้นและลอยฟุ้งอยู่ในบรรยากาศไม่ได้นานโดยส่วนมากที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 ไมครอนจะถูกกักอยู่ในช่องจมูกและหลอดลมในส่วนลำคอ และอนุภาคมลสารที่มีขนาดเล็กว่า 2 ไมครอนจะเข้าสู่ระบบหายใจส่วนล่างซึ่งรวมทั้งส่วนต่างๆของปอด

ดังนั้นสารประกอบตะกั่วในน้ำมันจึงอาจสามารถกระจายไปได้ไกลและอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมบริเวณห่างไกลความเจริญได้ ฝนอาจชะล้างตะกั่วออกจากบรรยากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การใช้ตะกั่วในวงการอุตสาหกรรม

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) สารประกอบอนินทรีย์ตะกั่ว

- โลหะตะกั่วใช้ผสมในแท่งโลหะผสมหรือผงเชื่อมบัดกรีโลหะ นำมาทำเป็นแผ่น หรือท่อโลหะใช้ในอุตสาหกรรมเคมีเพื่อป้องกันการกัดกร่อน แผ่นกรอง กรองในอุตสาหกรรมรถยนต์ ทำลูกปืนฉากกั้นสารกัมมันตรังสี
- ออกไซด์ของตะกั่ว ได้แก่ ตะกั่วโมนอกไซด์ (Lead monoxide) ใช้ในอุตสาหกรรมสี โดยใช้เป็นสารสีเหลืองผสมสีทาบ้าน ตะกั่วไดออกไซด์ (Leadred dioxide) ใช้ทำเป็นขั้วอิเล็กโทรดของแบตเตอรี่รถยนต์ และเครื่องจักร ตะกั่วออกไซด์หรือตะกั่วทองแดง (Leadred oxide) ใช้ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ สีทาโลหะเพื่อกันสนิม เครื่องแก้ว ยาง และเครื่องเคลือบ
- สารประกอบของเกลือตะกั่ว คุณสมบัติมีสีต่างๆ กัน จึงนิยมใช้เป็นแม่สี หรือสีผสมในอุตสาหกรรมสี เช่น ตะกั่วเหลือง (Lead cromate) ตะกั่วขาว (Lead carbonate) ตะกั่วซัลเฟต (Lead sulfate) ใช้ในอุตสาหกรรมสีและหมึกพิมพ์ ตะกั่วอะซิเทต (Lead acetate) ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ครีมใส่ผม

(2) สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว

เตตราเอธิลเลด (Tetraethyl lead) และเตตราเมทริลเลด (Tetramethyl lead) โดยใช้เป็น "สารกันน็อก" หรือสารป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์เวลาทำงาน โดยใช้ผสมในน้ำมันเบนซินเพื่อให้เชื้อเพลิงมีค่าออกเทนสูงขึ้น

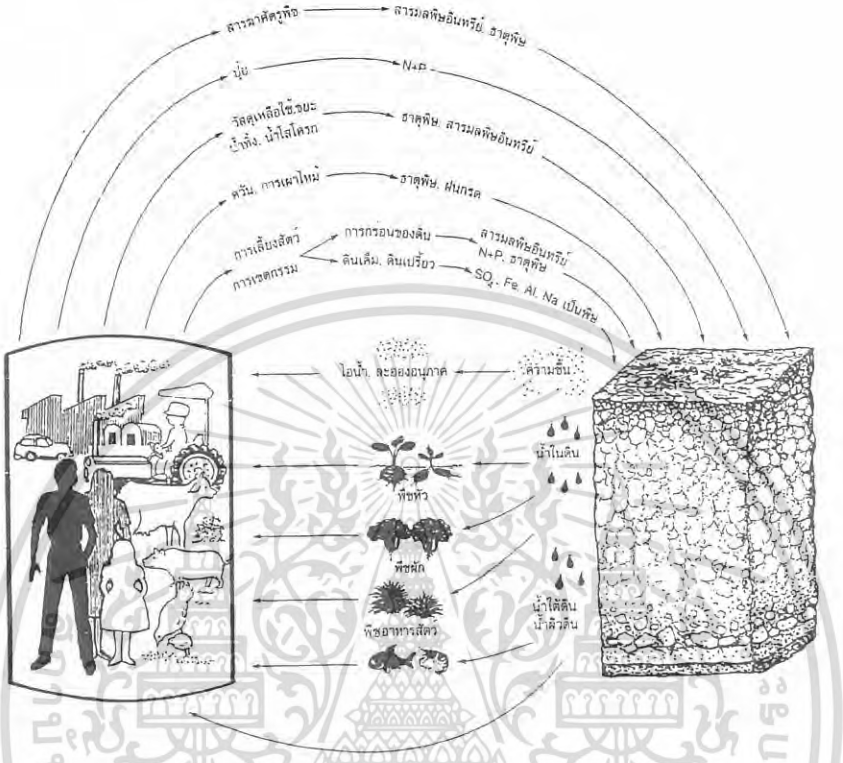
3.5 ความเป็นพิษของตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะที่ร่างกายไม่ต้องการ คือไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบเผาผลาญอาหารยิ่งไปกว่านั้น ตะกั่วยังเป็นพิษต่อร่างกายอย่างแรง ถ้าร่างกายได้รับตะกั่วเข้าไปในปริมาณสูง โดยปกติร่างกายคนเราสามารถทนต่อตะกั่วในปริมาณสูงพอสมควร มีการวิจัยพบว่าคนทั่วไปมีตะกั่วในเลือด 0.25 ppm. โดยไม่เกิดอาการเป็นพิษแต่อย่างใด แต่ถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไปในปริมาณที่มากในทันทีทันใด เช่น ในเลือดมีมากกว่า 0.8 ppm. จะเกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน แต่สำหรับพิษของตะกั่วแบบสะสม คือ ร่างกายรับตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่วเข้าไปทีละเล็กทีละน้อยแต่มากกว่าที่ร่างกายจะสามารถขับถ่ายออกไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การดูดซึมของตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ



รูปที่ 3.4 แสดงเส้นทางการเข้าสู่ร่างกาย

ที่มา : ศุภมาศ, ๒๕๓๕

(1) การดูดซึมจากระบบทางเดินอาหาร

แหล่งสำคัญ คือ การปนเปื้อนของตะกั่วในอาหาร น้ำ เครื่องดื่ม ยาสมุนไพรแผนโบราณ และภาชนะเครื่องใช้ที่มีตะกั่วปนเปื้อน พบว่าร้อยละ 70 - 85 ของตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายคนปกติได้จากอาหาร

(2) การดูดซึมจากระบบทางเดินหายใจ

การหายใจเอาควันหรือฟูมของตะกั่วที่หลอมเหลวเข้าไป เช่น จากการหลอมตะกั่วหรือเชื่อมโลหะ ซึ่งเป็นทางเข้าสู่ร่างกายอันดับแรกของผู้ประกอบอาชีพที่สัมผัสตะกั่ว เช่น คนงานในโรงงานหลอมตะกั่ว แบตเตอรี่ โรงงานผลิตสี ฯลฯ

(3) การดูดซึมทางผิวหนัง

เกิดเฉพาะตะกั่วอินทรีย์เท่านั้น ผู้ที่มีโอกาสได้รับตะกั่วทางผิวหนัง ได้แก่ คนงานที่ทำงานในปั๊มน้ำมัน ช่างซ่อมเครื่องยนต์ เนื่องจากในอุตสาหกรรมน้ำมันมีการเติม เตตราเอธิลเลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Tetraethyl lead) หรือ เตตราเมทธิลเลด (Tetramethyl lead) ผสมในน้ำมันเบนซิน ดังนั้น เมื่อคนงานถูกน้ำมันรดผิวหนัง หรือใช้น้ำมันเบนซินล้างมือ เตตราเอธิลสามารถละลายชั้นไขมันของผิวหนังได้ ตะกั่วจึงสามารถซึมผ่านผิวหนังและเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดของร่างกายไปสู่ตับ และจะเปลี่ยนเป็นไตรเอธิลเลด (Triethyl lead) ได้ช้ามาก โดยมีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 200 - 350 วัน ตะกั่วจึงสามารถสะสมอยู่ในร่างกายได้เป็นเวลานาน

3.7 ตะกั่วที่มีพิษต่อร่างกาย

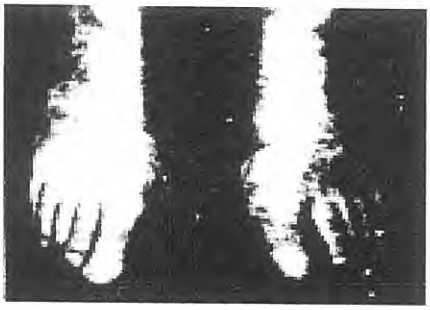
(1.) พิษตะกั่วในผู้ใหญ่

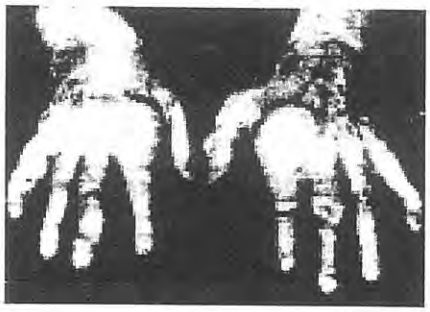
(1.1) อาการทางระบบทางเดินอาหาร พบได้บ่อยในผู้ใหญ่ โดยเริ่มจากมีอาการเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก บางรายมีอาการท้องเสีย อาการ ที่สำคัญ คือ ปวดท้องอย่างรุนแรงมาก ที่เรียกว่า "โคลิค" เป็นสาเหตุให้ผู้ป่วยมาโรงพยาบาลผู้ป่วยอาจปวดท้องจนดิ้นตัวงอ อาการปวดท้องนี้อาจทำให้แพทย์วินิจฉัยโรคผิดว่าเป็นอาการปวดท้องเนื่องจากสาเหตุทางศัลยกรรมได้ เช่น ไส้ติ่งอักเสบ นอกจากนี้การดื่มสุรา หรือภาวะเจ็บป่วยอื่นๆ จะเป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกั่วจากที่เก็บสะสมไว้ออกมามากขึ้น นอกจากนี้อาจตรวจพบแนวเส้นตะกั่วบริเวณเหงือก (Lead line) มีลักษณะเป็นเส้นสีน้ำเงิน - ดำ จับอยู่ที่ขอบเหงือกต่อกับฟันห่างจากฟันประมาณ 1 มิลลิเมตร พบบ่อยบริเวณฟันหน้ากราม และฟันกราม

รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะแนวเส้นตะกั่วบริเวณเหงือก (Lead line)
ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Lead

(1.2) อาการทางระบบประสาทส่วนปลาย ผู้ป่วยจะมีอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อแขนและขา บางครั้งมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อ และข้อต่อต่างๆ ถ้าร่างกายได้รับตะกั่วปริมาณมากๆ เป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดอัมพาตของกล้ามเนื้อได้ ซึ่งมักจะเกิดกับกล้ามเนื้อที่ใช้เหยียดข้อ มืออ่อนแรง ทำให้เกิดอาการที่เรียกว่า ข้อมือตก หรือข้อเท้าตก การเป็นอัมพาตมักจะไม่ทำให้ประสาทความรู้สึกเสียส่วนมากมักจะเป็นเฉพาะกล้ามเนื้อข้างใดข้างหนึ่งของแขนหรือขาเท่านั้น และมักจะมีอาการข้างที่ถนัดก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.6 แสดงอาการทางระบบประสาทส่วนปลาย

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Lead

(1.3) อาการทางสมอง เป็นอาการแสดงที่พบว่ารุนแรงที่สุด มักพบในเด็กที่ได้รับตะกั่วอนินทรีย์ หรือสูดเอาไอและละอองฝุ่นตะกั่วเข้าไปมาก สำหรับผู้ใหญ่พบได้น้อย โดยมากเกิดจากตะกั่วอินทรีย์

(1.4) อาการทางโลหิต ผู้ป่วยมักจะมีอาการซีดเลือดจาง อ่อนเพลีย นอกจากอาการดังกล่าวแล้วผู้ป่วยมักมีอาการปวดศีรษะ มึนงง ในรายที่เป็นเรื้อรังพบว่ามีอาการตัวเหลือง ตาเหลืองได้ด้วย

(1.5) ตะกั่วที่สะสมในร่างกาย ตะกั่วจะไปสะสมที่กระดูก เมื่อเอกซ์เรย์จะเห็นเป็นแนวเส้นโลหะ Metallic Line แล้วยังสะสมที่ไต จนเกิดไตอักเสบ Nephropathy

รูปที่ 3.7 แสดงตะกั่วที่สะสมในร่างกาย

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Lead

(2.) พิษตะกั่วในเด็ก

(2.1) ระบบประสาท โดยตะกั่วจะทำลายทั้งระบบประสาทส่วนกลาง และระบบประสาทส่วนปลาย ยิ่งอายุน้อยระบบประสาทยิ่งถูกทำลายมาก ดังนั้นในเด็กเล็กจึงเป็นอันตรายอย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.2) ระบบทางเดินปัสสาวะ ตะกั่วทำลายไตโดยตรงทำให้เกิดการฝ่อลีบของบริเวณที่กรองปัสสาวะ

(2.3) ระบบเลือด นอกจากจะทำให้เม็ดเลือดแดงแตกง่ายแล้ว ตะกั่วยังขัดขวางการสร้างฮีม ทำให้มีอาการซีด โลหิตจางได้ นอกจากนี้ระดับตะกั่วในเลือด ตั้งแต่ 25 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตรขึ้นไป มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ทำให้การเจริญเติบโตไม่สมอายุ

(2.4) พิษต่อหัวใจ ทำให้เกิดกล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ

(2.5) ระบบทางเดินอาหาร ทำให้กล้ามเนื้อเรียบมีการเกร็ง เกิดอาการปวดท้องมาก

3.8 การแก้พิษตะกั่ว

(1) ถ้าได้รับตะกั่วปริมาณมากเข้ากระเพาะควรรักษาโดยให้ทิงเจอร์เบลดอนนาบรรเทาอาการปวดท้อง หรือให้อะโทรปีนและขจัดการดูดซึมของตะกั่วให้น้อยลง โดยกินอาหารประเภทนม ผัก และเกลือแคลเซียม

(2) ให้กำจัดตะกั่วโดยกินแมกนีเซียมซัลเฟตเพื่อเร่งการขับถ่ายอุจจาระ ถ้าปวดท้องมากควรฉีดแคลเซียมกลูโคเนต 10 ซีซี เข้าเส้นเลือดดำช้าๆ

(3) กรณีชัก อาจให้ Diazepam เพื่อป้องกันการชัก

(4) ใช้ยาต้านพิษ (Antidote) ฉีดแคลเซียม ไดโซเดียมเอดิเทต (Calcium DisodiumEdetate, Ca-EDTA) เข้าเลือดดำ หรือ ฉีดไดเมอร์แคพรอล (Dimercaprol, BAL) เข้าเลือดดำ หรือกินเพนิซิลลิมีน Penicillamine ก่อนอาหาร

(5) การรักษาเฉพาะคือการใช้ยาขับตะกั่ว เช่น ยาแผนไทยเพื่อขับตะกั่วออกจากร่างกายทีละน้อย คือ รากชะเอมเทศ หรือ ชะเอมจีน และเมล็ดเฮ่งยิ้น กินก่อนอาหาร

3.9 การควบคุมและป้องกันตะกั่ว

(1) ควบคุมสภาพแวดล้อมทั่วไปไม่ให้มีไอตะกั่ว โดยค่ามาตรฐานของกองอาชีวอนามัย กำหนดให้ปริมาณของฝุ่นตะกั่ว ในอากาศ ไม่ควรเกิน 0.15 มก./ลูกบาศก์เมตร ในการทำงาน 8 ชั่วโมง

(2) ใช้เครื่องป้องกันไอตะกั่ว ป้องกันฝุ่น เช่น ใช้หน้ากากที่มีตัวกรองตะกั่ว

(3) ตรวจสุขภาพว่ามีพิษตะกั่วหรือไม่ เช่น ตรวจปัสสาวะ ตรวจเลือด โดยค่ามาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่วในเลือด ไม่ควรเกิน 0.08 มก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 เทคโนโลยีในการบำบัดสารมลพิษในดิน

มลพิษในดินเกิดจากการที่มีการปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค การมีอินทรีย์สารมากเกินไป การมีสารเคมีเป็นพิษทำให้เกิดผลกระทบต่อการเพาะปลูก เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการบำบัดและกำจัดสารมลพิษในดินหลายอย่าง ได้แก่ การทำให้เสถียร การชะล้าง การใช้ความร้อนทำลาย การใช้วิธีทางชีวภาพ การใช้วิธีทางเคมี การใช้ตัวทำละลาย และสารเคมีในการสกัด แต่วิธีที่นิยม คือ วิธีการล้างดิน (soil washing) และการชะล้างไล่สารปนเปื้อนในดิน (soil flushing)

(1.) การล้างดิน (soil washing)

การล้างดิน (soil washing) เป็นการนำดินออกมาล้างนอกบริเวณที่ปนเปื้อนด้วยกระบวนการสกัดและแยกสารปนเปื้อนอินทรีย์ อนินทรีย์และกัมมันตรังสีออกจากดินด้วยการใช้สารเคมี หรือ วิธีการทางกายภาพมักจะถูกนำมาใช้เป็นการบำบัดเบื้องต้นเพื่อลดปริมาตรของของเสียก่อนการกำจัดโดยวิธีอื่น ดังแผนภาพการล้างดินดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงการล้างดิน

ที่มา : USEPA 1993

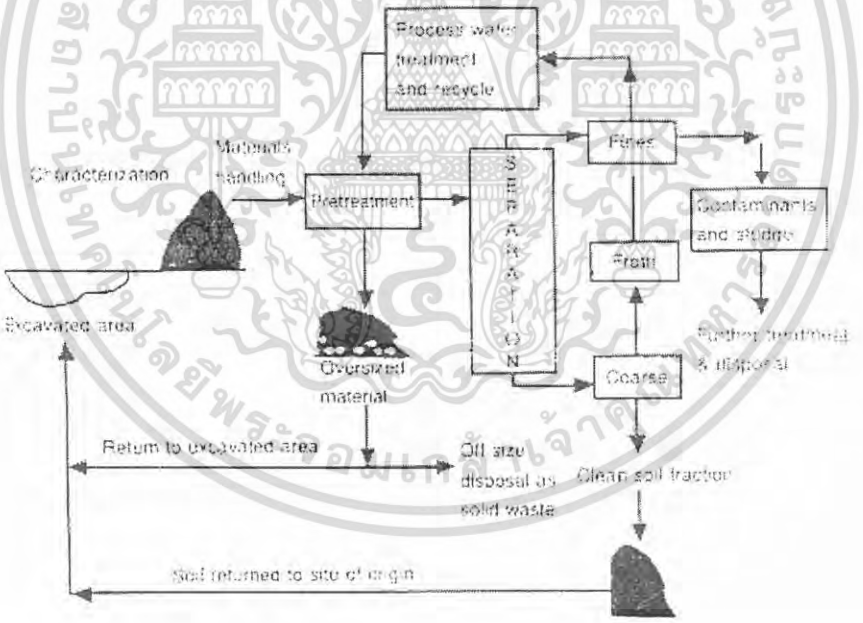
วิธีการคือ การขุดดินและนำมากองไว้ ทำการบำบัดเบื้องต้นเพื่อกำจัดไม่ให้มีวัสดุใหญ่มากเกินไปด้วยการล้างน้ำและอาจจะใช้สารทำความสะอาดอื่นเพื่อทำการแยก และรวมสารปนเปื้อนออกมา กระบวนการนี้จะได้ดินสะอาดกลับคืนมาใช้ประโยชน์และสารปนเปื้อนที่เข้มข้นในส่วนของดินอีกส่วนหนึ่ง เพื่อนำไปบำบัดในขั้นต่อไป วิธีการนี้เป็นการลดปริมาตรของดินที่มีการปนเปื้อนที่จะต้องการบำบัด สามารถลดค่าใช้จ่ายได้มาก การทำการแยกสารปนเปื้อนออกจากดินนั้นอาจจะใช้การสกัดด้วยวิธีทางกายภาพหรือเคมีและอาจจะใช้เทคนิคในการแยกสารปนเปื้อนที่เป็นพวกอินทรีย์ อนินทรีย์และกัมมันตรังสีออกจากดิน วิธีการด้วยการขุดดินนำมากองไว้แล้วทำการร่อนด้วยตะแกรงเพื่อกำจัดวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าออกไป สารปนเปื้อนอาจจะถูกกวนผสมและทำการขัดถูด้วยการใช้น้ำล้างอาจจะใช้สารลดแรงตึงผิวของสารอื่นทำการล้าง แล้วทำการแยกดินนั้นออกจากน้ำที่ใช้ล้างซึ่งน้ำล้างดังกล่าวมีสารปนเปื้อนอยู่ ดินที่ผ่านการล้างแล้วจะประกอบด้วยดินที่มีความหยาบ ได้แก่ กรวด ทรายที่สะอาดที่มีขนาดใหญ่กว่า 230 mesh หรือใหญ่กว่า 63 microns และดินละเอียดที่มีการปนเปื้อน ดินทรายโคลนและดินเหนียวขนาดเล็กกว่า 230 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ 63 microns และส่วนของสารอินทรีย์หรือฮิวมัสที่ปนเปื้อนอยู่ ซึ่งสารปนเปื้อนดังกล่าวนี้จำเป็นที่จะต้องกำจัดออกด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น การทำลายโดยความร้อน (thermal destruction) การใช้ความร้อนไล่การดูดซับออก (thermal desorption) หรือใช้วิธีทางชีวภาพ (Bioremediation)

การใช้ประโยชน์ในการล้างดิน การล้างดินสามารถกำจัดสารปนเปื้อนที่เป็นสารอินทรีย์ สารอินทรีย์และกัมมันตรังสี ได้หลายชนิด ได้แก่ เศษปิโตรเลียมและเศษเชื้อเพลิง เรดิโอนิวไคล์ โลหะหนัก พีซีบี (PCBs) pentachlorophenol (PCP) สารปราบศัตรูพืช - สัตว์ ไซยาไนด์ ครีโอโสด (creosote) สารกึ่งระเหยง่าย (semivolatile) และสารระเหยง่าย (volatile)

การล้างดินมักจะนิยมใช้การล้างดินที่มีการปนเปื้อนด้วยสารที่ไม่มีความซับซ้อน (non-complex soil) เช่น มีทรายและกรวดไม่น้อยกว่า 50 % จะไม่มีประสิทธิภาพพอเพียงสำหรับดินที่มีดินเหนียวและดินทรายปนโคลนอยู่มาก นอกจากนี้ดินที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวกสูง เนื่องจากมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนสารมลพิษได้สูงและมีแนวโน้มที่จะทำการยึดสารมลพิษไว้แน่นกว่าซึ่งถ้าเป็นเช่นนี้การล้างดินก็จะไม่เกิดประสิทธิภาพดีเท่าที่ควร เทคโนโลยีในการใช้ล้างดิน ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงรูปแบบหลักของการล้างดินทั่วไป

ที่มา : USEPA 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1) การบำบัดเบื้องต้น (pretreatement) การบำบัดเบื้องต้นเป็นการกำจัดวัสดุที่มีขนาดหยาบใหญ่ออกไป และทำให้เกิดความเป็นเนื้อเดียวกันของสารที่จะเติมเข้าสู่กระบวนการล้างกระบวนการที่ถูกนำมาใช้อาจจะเป็นการคลูด การขูด และการบด การใช้ตะแกรงกรองเครื่อง ร่อน/เขย่า และเครื่องป้อนวัตถุแบบเครื่องแยกแบบแรงโน้มถ่วง เครื่องกวนและผสมและเครื่องกำจัดแม่เหล็ก การเลือกวัตถุขนาดใหญ่ออกจากเศษวัสดุก่อสร้างและของเสียเส้นผ่านศูนย์ กลางประมาณ 50 มม. (2 นิ้ว) วัสดุปกติมักมีสารปนเปื้อนขนาดหยาบที่ไม่ต้องการการบำบัดด้วยวิธีการอื่นหรืออาจจะนำกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น โลหะ ไม้ เป็นต้น

1.2) การแยกออก (separation) ในการออกแบบอับดับแรกเพื่อที่จะทำการแยกของแข็งขนาดใหญ่และของแข็งขนาดเล็กออกจากกันที่ขนาด 63 ถึง 74 ไมครอน (200 ถึง 230 mesh) จุดตัดของทั้งสองขนาดดังกล่าวนั้น ต้องการการบำบัดขั้นสุดท้ายในการทำความสะอาดที่มีความแตกต่างกันรวมถึงการแยกเอาของแข็งที่หยาบกว่าออกได้ด้วยเทคนิคธรรมดามักจะใช้ Hydrocyclone ส่วนของแข็งที่มีขนาดละเอียดกว่าอาจจะทำให้ตกตะกอนด้วยวิธีการที่แตกต่างออกไปได้หลายอย่าง

1.3) การบำบัดของแข็งเม็ดหยาบ (Coarse-grained treatment) หลังจากผ่านขั้นตอนการแยกแล้ว ของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่า (63-74 ไมครอน หรือ 200-230 mesh) ควรจะมีจำนวนประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของของแข็งทั้งหมดโดยน้ำหนัก การเพิ่มเติมการบำบัดสามารถทำได้ด้วยการใช้ไซโคลนและให้ส่วนที่เป็นน้ำถูกส่งไปยังการบำบัดของแข็งที่ละเอียดกว่าเพื่อการนำของแข็งกลับมาใช้ประโยชน์อีก ส่วนใหญ่สารปนเปื้อนมักจะพบในของแข็งที่มีความละเอียดกว่า แต่ส่วนของแข็งที่หยาบกว่า ก็จำเป็นที่จะต้องทำการกำจัดสารมลพิษที่ถูกดูดซับไว้ออกไปหรือที่ถูกห่อหุ้มไว้ที่ของแข็งขนาดใหญ่กว่า มีวิธีการล้างหลายวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการล้างเศษของเสีย เช่น การล้างให้เกิดการเสียดสีที่หน้าดิน การบำบัดด้วยการละลายด้วยกรดหรือด่าง หรือการใช้สารตัวทำละลายเพื่อการละลายสารปนเปื้อนสามารถที่จะใช้ในการปล่อยสารปนเปื้อนจากของแข็งที่อยู่ในส่วนของของเหลว ส่วนของแข็งจะถูกนำไปทำการแยกต่อไปและอาจจะส่งไปบำบัดของแข็งละเอียดกว่าหรือการบำบัดส่วนที่เป็นน้ำเพื่อการกำจัดสารปนเปื้อนที่เป็นเป้าหมาย

การกำจัดสารปนเปื้อนจากอนุภาคคล้ายเม็ดทรายอาจจะมีผลในวิธีการ 2 วิธีคือ การขูดให้เกิดแรงเสียดทาน (attrition scrubbing) หรือ การทำให้ลอย (flotation) วิธีการดึงน้ำออกจากทราย (sand dewatering method) เป็นวิธีการที่นำมาใช้ในการดักจับสารปนเปื้อนออกจากน้ำที่ใช้ล้าง

1.4) การบำบัดของแข็งละเอียด (fine-grained treatment) ถึงแม้ขนาดของแข็งที่จะทำการแยกอนุภาคเริ่มจากขนาดเล็กกว่า 63 ถึง 74 ไมครอน (200 ถึง 230 mesh) และโดยทั่วไปมักจะมีขนาดของแข็งที่อยู่ในช่วงคอลลอยด์ 6-10 ไมครอน รวมถึงน้ำที่ผ่านกระบวนการแยกจากไวโคลนไหลล้นออกมานั้นค่อนข้างเจือจางประมาณ 5-10% โดยน้ำหนักของแข็งเหล่านี้จะตกตะกอนอย่างช้าๆ และบางครั้งอาจจะไม่ตกตะกอนเลยเนื่องจากเป็นพวกดินเหนียวและคอลลอยด์ การแยกออกตามความเข้มข้น ส่วนที่มีขนาดเล็กมีความจำเป็นต่อการเลือกวิธีการในการจัดการเศษตกค้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(residuals management step) ต่อไป ซึ่งวิธีการขึ้นอยู่กับลักษณะและความเข้มข้นของสารปนเปื้อน การทำความสะอาดให้ได้มาตรฐาน ค่าใช้จ่าย เป็นต้น

1.5) การบำบัดน้ำจากกระบวนการ (process water treatment) น้ำที่ล้างเกิดจากการปนเปื้อนกระบวนการล้างดิน (soil washing process) ซึ่งน้ำล้างดินนี้บางครั้งหรืออาจจะเกิดมีทั้งหมดสารหรือสารปนเปื้อนดังต่อไปนี้

- ทรายเม็ดหยาบขนาดจาก 360 ไมครอน (40 mesh) เล็กลงไปจนถึงขนาดมากกว่า 63 ไมครอน (น้อยกว่า 230 mesh) อาจจะมีสารปนเปื้อนจำนวนน้อยมากหรือไม่มีเลย
- ของแข็งเม็ดเล็กละเอียดเล็กกว่า 63 ไมครอน (เล็กกว่า 230 mesh) อาจจะมีสารปนเปื้อนอยู่และอาจจะมี colloidal silt และดินเหนียวปนเปื้อนอยู่ด้วย
- เกลือละลายน้ำ (dissolved salts) ที่มีอยู่ในดินดังเดิม ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีโซเดียมและคลอไรด์ละลายอยู่ ซึ่งอาจจะมีปริมาณมากพอที่จะล้างออกแล้วนำกลับคืนไปเป็นประโยชน์ หรือถ้ามีปริมาณมากกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งก็อาจจะปล่อยทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำเสียสาธารณะหรือแหล่งน้ำธรรมชาติตามความต้องการ
- สารประกอบอินทรีย์ฮิวมิค เช่น ใบไม้ รากไม้ กิ่งไม้ เป็นต้น ซึ่งจำเป็นที่จะต้องกำจัดออกให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้
- ค่า pH อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่ต้องการเพื่อนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้หรือไปกำจัด
- โลหะหนักที่ละลายน้ำหรือที่สามารถละลายน้ำได้ ต้องการการบำบัด และการกำจัด
- สารปนเปื้อนอื่นๆ เช่น ไฮโดรคาร์บอนปิโตรเลียมที่ลอยอิสระต้องการการกำจัดออก

น้ำล้างจะต้องถูกนำมาบำบัดเพื่อการหมุนเวียนกลับมาใช้อีกหรือเพื่อนำกลับมาสู่กระบวนการหรือเพื่อการกำจัดน้ำที่จะนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ที่ไม่ต้องการให้มีคุณภาพดีเหมือนกับที่จะต้องระบายสู่ท่อระบายน้ำเสีย หรือสู่แหล่งน้ำเพราะฉะนั้นเพื่อให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่าย ควรมีการใช้ซ้ำเท่าที่ไม่มีผลเสียต่อกระบวนการบำบัดด้วยการล้างดิน น้ำล้างที่จะปล่อยสู่ท่อระบายน้ำหรือแหล่งน้ำจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมาย เช่น pH อยู่ในช่วงเช่น 6-9 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดโดยเฉพาะที่กำหนดสูงสุดของอิออนหรือสารประกอบ ค่าซีโอดี หรือค่าบีโอดี น้ำมัน และไขมันทั้งที่ละลายและไม่ละลายน้ำ สารแขวนลอยและของเสียมีพิษหรือของเสียอันตรายอื่นๆ

ถ้าน้ำล้างไม่เป็นไปตามมาตรฐานการระบายจะต้องแสดงใบกำกับเป็นของเสียอุตสาหกรรมหรือของเสียอันตรายและนำไปบำบัดในระบบบำบัดและกำจัดของเสียศูนย์กลาง ซึ่งขึ้นอยู่กับของเสียในน้ำล้างและเกณฑ์กฎหมายที่อนุญาตให้มีการปล่อยทิ้งได้ วิธีการบำบัดที่สามารถที่จะนำมาใช้ในการบำบัดเป็นวิธีเดียวกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบในน้ำที่ต้องการบำบัด กระบวนการบำบัดที่นิยมใช้ ได้แก่ การทำให้เป็นกลาง (neutralization) การบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยถ่าน (carbon treatment) การกำจัดอิออน (ion exchange) การรวมตะกอน (flocculation) การตกตะกอนและการทำให้ตะกอนเข้มข้นขึ้น (sedimentation and thickening) การดึงน้ำออก (dewatering) และการไล่สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายออก (volatile organics tripping)

1.6) การจัดการเศษของเหลือ (Residuals Management) ปริมาณของสารที่เกิดขึ้นและเศษของสารที่เหลืออยู่จากการล้างดินนั้นมีความแปรผันตามสัดส่วนของขนาดของเม็ดสารที่กระจายตัวอยู่ที่จะต้องดำเนินการต่อไป อนุภาคละเอียดที่ปนเปื้อนและกากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการล้างดินอาจจะถูกนำไปกำจัดด้วยการฝังกลบที่ถูกต้องตามกำหนดในกฎหมายหรืออาจจะต้องการการบำบัดต่อผ่านกระบวนการบำบัดดังนี้ก่อนที่ยอมให้มีการกำจัดทิ้งไปเพื่อความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและในวิธีการที่เป็นที่ยอมรับ เช่น การเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิสูง การคายสารออกที่อุณหภูมิต่ำ การสกัดด้วยสารเคมี/การไล่คลอรีนออก (dechlorination) การฟื้นฟูสภาพด้วยวิธีทางชีวภาพ การทำให้เป็นก้อนแข็ง/การทำให้เสถียร หรือการทำให้เป็นแก้ว (Vitrification)

(2.) การชะล้างไล่สารปนเปื้อนในดิน (soil flushing)

เป็นการใช้น้ำชะล้างไล่สิ่งสกปรกออกจากดินเป็นกระบวนการที่กระทำในบริเวณดินปนเปื้อน (in situ process) ด้วยการใช้น้ำหรือแก๊สผสมเพื่อเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนออกจากดินเพื่อการนำดินกลับมาใช้ประโยชน์และการบำบัดต่อไป

การใช้น้ำชะล้างไล่สารปนเปื้อนดินให้ไหลออกไปเพื่อเป็นการนำกลับมาใช้ประโยชน์และเป็นการบำบัดดินแหล่งนั้น เป็นการใช้น้ำหรือส่วนผสมของแก๊สเพื่อทำการเร่งให้สารที่มีลักษณะทางภูมิเคมีเหมือนกันหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งชนิดไม่ทำปฏิกิริยาในการละลายเพื่อทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในระบบน้ำใต้ดิน มักพบในระบบเครื่องสูบน้ำใต้ดินด้วยกลไกในการขนถ่ายสารปนเปื้อนในชั้นใต้ผิวดิน ประสิทธิภาพในการขนถ่ายสารปนเปื้อนขึ้นกับสารปนเปื้อนและลักษณะทางอุทกวิทยาขึ้นอยู่กับสารปนเปื้อนว่ามีสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และกัมมันตรังสี การขนถ่ายสารปนเปื้อนมักจะเกิดประสิทธิภาพถ้าเป็นดินชนิดเดียวกัน มีความสามารถซึมน้ำได้ เช่น ดินทรายหรือทรายปนโคลน อาจจะใช้ในการนำกลับน้ำมันกลับมาใช้ด้วยการใช้สารออกซิไดซิงค์

การใช้น้ำชะล้างไล่สารปนเปื้อนในดินแยกออกเป็น 3 กิจกรรม

1) ลักษณะของสถานที่ตั้ง ที่อยู่เหนือ หรือภายในหรือต่ำกว่าบริเวณดินที่มีการปนเปื้อนต้องมีความเข้าใจถึง อุทกวิทยา เคมี และความสามารถในการซึมน้ำได้ของดิน รวมถึงการศึกษาในเรื่องของหิน

2) การฉีดของเหลวลงไปในดิน การใส่ของเหลวลงในดินหรือการสูบน้ำใต้ดิน ด้วยการทำให้น้ำท่วมดิน หรือด้วยการหมุนวนน้ำไหลผ่านชั้นใต้ดิน และวิธีอื่นๆ เมื่อสารปนเปื้อนถูกน้ำไล่ชะล้างออกไป น้ำที่ใช้ทำการชะล้างสารปนเปื้อนอาจจะถูกนำออกไปหรืออยู่ในสภาพของการเกาะอยู่ที่ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เทคนิคในการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนและการนำกลับมาใช้ประโยชน์ เทคนิคที่นำมาใช้ในการทำให้สารปนเปื้อนเกิดการเคลื่อนที่

การไล่สารปนเปื้อนด้วยน้ำมักใช้ในการไล่สารปนเปื้อนที่เป็นพวกปิโตรเลียม ไฮโดรคาร์บอน คลอริเนตเด็ดไฮโดรคาร์บอน โลหะ เกลือ สารปราบศัตรูพืช - สัตว์ สารปราบวัชพืชและกัมมันตรังสีไอโซโทป ประสิทธิภาพในการทำงานด้วยวิธีนี้มักจะเกิดจากการที่ดินมีความเป็นเนื้อเดียวกันและมีความสามารถในการซึมน้ำได้ การล้างไล่สารปนเปื้อนอาจจะเป็นผลจากการเคลื่อนที่ของสิ่งสกปรกออกมาจากการสลายนำกลับมาใช้ในการบำบัดดิน ด้วยสารออกซิไดส์ซิงส์และทำให้เกิดการนำน้ำมัน (oil) กลับมาใช้ประโยชน์

การดูดซับสาร / การคายสาร (adsorption / desorption)

ปฏิกิริยากรด / ด่าง (acid / base reaction)

ปฏิกิริยาการละลายน้ำ / การตกผลึก (solution / precipitation reaction)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน / ปฏิกิริยารีดักชัน (oxidation / reduction reaction)

การควบอิออน / การทำให้เกิดสารเชิงซ้อน (Ion paring / complexation)

การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

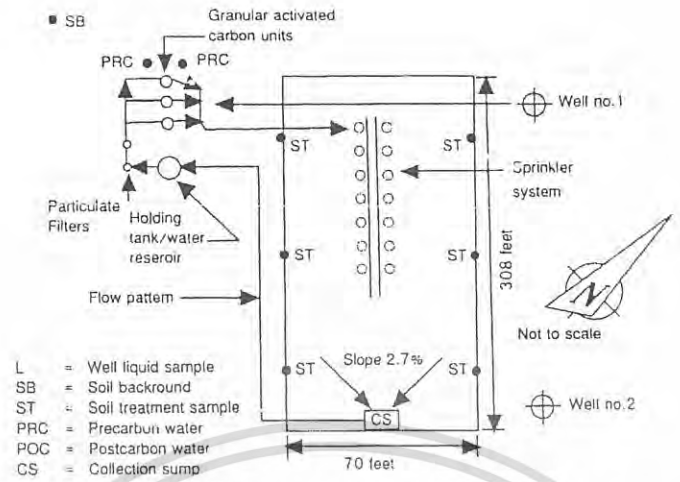
ของเหลวที่ถูกนำมาใช้และ/หรือดึงจากน้ำใต้ดินในบริเวณชั้นกลาง (intermediate area) นำเข้าสู่ดินด้วยการฉีดพ่น (spray) ดังรูปที่ 3.10 และ 3.11 หรือด้วยการทำให้น้ำท่วมผิวบริเวณชั้นดินใต้ผิวจะถูกชะล้างหรือด้วยการฉีดน้ำใต้ผิวดิน

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้สารลดแรงตึงผิวในการล้างดินในสถานที่

ปัจจัย	สภาวะที่เหมาะสม
ลักษณะของดิน : ขนาดของอนุภาค	มีดินทรายปนโคลนและดินเหนียว
: TOC	ต่ำ น้อยกว่า 10 %
: ค่าความนำชลศาสตร์ (Hydraulic Conductivity)	medium to high > 10
ลักษณะของของเสีย	Hydrophobic K_{DW} = 3 or less Nonvolatile Organic
ลักษณะของสารลดแรงตึงผิว	ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายทางชีวภาพได้ละลายที่อุณหภูมิในน้ำใต้ดินไม่ดูดซับดิน Low – Soil Dispersion Low – Surface tensio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9986?



รูปที่ 3.10 แสดงระบบการล้างไล่สารปนเปื้อนแบบฉีดไหลวน

ที่มา : USEPA 1993

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างแสดงภาพตัดขวางของการล้างไล่สารปนเปื้อนในดิน

ที่มา : USEPA 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 การกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (Soil washing)

Hessling,J.L. (1989) พบว่าการล้างดินเป็นวิธีที่เหมาะสมในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่วที่โรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่ ทั้งนี้ทำการศึกษาโดยใช้น้ำยาสกัด 3 ชนิดได้แก่ ใช้น้ำประปา ที่ pH = 7, ใช้น้ำประปา ที่ใส่สารลดแรงตึงผิว 0.5 % และ EDTA ที่สัดส่วนความเข้มข้นของ EDTA:Pb เท่ากับ 3:1 ที่ pH 7 – 8 การกำจัดโดยใช้น้ำประปาเพียงอย่างเดียวนั้นกำจัดตะกั่วได้ในปริมาณน้อยมาก ส่วนน้ำประปาที่เติมสารลดแรงตึงผิวและใช้ EDTA นั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วโดยวิธีการล้างดิน (soil washing) ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่วอาจขึ้นอยู่กับรูปตะกั่วในดิน ชนิดของดิน อนุภาคดินเหนียว และยังให้ข้อคิดเห็นว่าศักยภาพในการกำจัดตะกั่วโดยวิธีการล้างดิน (soil washing) นั้นควรที่จะศึกษาดินแต่ละที่เป็นรายกรณีไป

ในการกำจัดตะกั่วออกจากดินพบว่าสัดส่วน mole ของน้ำยาสกัด: mole ของตะกั่วในดิน มีผลต่อการสกัดโดย Kim et al. (2003) แนะนำว่าสัดส่วนความเข้มข้นของ EDTA มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วมากกว่าอัตราส่วนของน้ำยาสกัด EDTA ต่อดิน 3:1 และสัดส่วนความเข้มข้นในการทำปฏิกิริยาระหว่าง EDTA:Pb ควรที่จะมีค่ามากกว่า 10 จึงจะมีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้ในปริมาณสูง ทั้งนี้รูปของตะกั่วที่ปรากฏอยู่ในดินก็มีผลต่อการสกัดเช่นกัน นอกจากนี้ Elliott and Brown (1989) ยังพบว่าสัดส่วนความเข้มข้นของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 2:1 สามารถกำจัดตะกั่วได้มากกว่า 95% ในขณะที่สัดส่วน 1:1 จะทำให้กำจัดโลหะอื่นๆ ออกมาด้วย เช่น Ca^{2+}, Na^{+}, Mg^{2+}, Al^{3+} และ Fe^{2+} ซึ่งโลหะพวกนี้จะเข้าแย่งจับกับสารประกอบคีเลต ส่วนในกรณีของ Davis and Hotha (1998) รายงานว่า ถ้าจะทำให้การสกัดตะกั่วออกมามากขึ้นควรเพิ่มสัดส่วนความเข้มข้นของ EDTA:Pb ในสัดส่วน 3:1 และใน Steele and Pichtel (1998) กล่าวว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนความเข้มข้นของ EDTA:Pb มากกว่า 1.5:1 ก็จะสามารถกำจัดตะกั่วได้ในปริมาณที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการสกัดก็ลดลงเล็กน้อยถึงแม้จะเพิ่มความเข้มข้นของ EDTA แล้วก็ตาม

Pichtel and Pichtel (1997) ศึกษาความสามารถของ EDTA และ HCl ในการกำจัดตะกั่วออกจากดินที่มีการปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรม (Pb 1,300 mg/kg ; pH 10.3) โดยใช้ 0.1 M EDTA สามารถกำจัด Pb ได้ 100% และที่ pH 12 สามารถกำจัด Pb ได้ 96% ซึ่งความสามารถที่จะสกัดโลหะออกมาได้ขึ้นอยู่กับ pH solution และความเข้มข้นของ EDTA โดยพบว่าสัดส่วนที่มากที่สุดของ EDTA:Pb ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ออกจากดินคือมากกว่า 1:1 ในกรณีของ HCl ถ้าใช้ความเข้มข้น 2-8% สามารถกำจัดตะกั่วได้ 100% อย่างไรก็ตาม กรดรุนแรงจะทำลายโครงสร้างดินและละลายส่วนที่เป็นของแข็งออกมามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peter and Shem (1992 a) ศึกษาการกำจัดตะกั่วจากดินที่จำลองการปนเปื้อนที่มีความเข้มข้น 500-10,000 mg/kg ซึ่งมีปริมาณ silt รวมกับ clay ประมาณ 70 % โดยใช้ EDTA, NTA และน้ำที่ปรับ pH เป็น 3-12 พบว่า pH ของน้ำ และ pH ของ NTA มีผลต่อการกำจัดตะกั่วออกจากดิน แต่ใน EDTA pH กลับไม่มีผลในการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในกรณีที่ใช้น้ำสามารถกำจัด Pb ได้ 7.55% ที่ pH 4 ส่วน EDTA มีประสิทธิภาพกำจัด Pb ได้ดีในช่วงความเข้มข้น 0.01-0.1 M แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นมากกว่า 0.1 M ก็ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่ว

Peter and Shem (1992 b) สกัดตะกั่วโดยใช้ EDTA, NTA และน้ำ พบว่าระยะเวลาในการกำจัด Pb ที่เหมาะสมของ EDTA คือ 1 ชม. ในขณะที่ NTA จะใช้เวลานานกว่าคือประมาณ 3 ชม. ซึ่งประสิทธิภาพการสกัดเรียงตามลำดับดังนี้ EDTA (68.7%) > NTA (19.1%) > WATER (7.3%)

Farrah and Pickering (1978) พบว่า EDTA มีประสิทธิภาพในการกำจัด Cd และ Pb สูงกว่า HCl ในกรณีที่มีการจำลองการปนเปื้อนโดยการเติมโลหะหนักพวกนี้ลงไปในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21131

3.12 ค่ามาตรฐานและค่าวิกฤตของตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินสำหรับการบำบัดดิน

ในบางพื้นที่ของเขตอุตสาหกรรม และบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงที่ทิ้งขยะอันตรายนั้นความเป็นพิษของสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน และแหล่งน้ำใต้ดินเป็นเครื่องชี้ถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพของบุคคลที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง จึงมีการกำหนดค่ามาตรฐานที่จะตัดสินว่าพื้นที่ดังกล่าวควรที่จะทำการพัฒนาหรือกำจัดสารพิษออกจากดิน โดยประเทศเนเธอร์แลนด์ (Dutch authorities) ได้กำหนดค่าระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดิน โดยโลหะในดินจะสัมพันธ์กับ % clay และปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.2 โดยค่า A เป็นระดับอ้างอิง B คือ ค่าที่มีการปนเปื้อนที่ควรจะทำการกำจัดและระดับค่า C เป็นค่าที่มีการปนเปื้อนถึงระดับที่ควรจะบำบัดสารที่ปนเปื้อนในดิน

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินที่ไม่ควรเกินค่ามาตราฐาน โดยประเทศเนเธอร์แลนด์ (Dutch authorities)

Metal	Soil (mg kg^{-1} dry weight)			Groundwater ($\mu g\ L^{-1}$)		
	A	B	C	A	B	C
Pb	50+L+H	150	600	15	50	200

L = % clay, H = % of organic matter in soil

ที่มา: Forstner (1994)

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(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 8424)
5) Sieve shaker (ORTO-ALRESA Model TA 002)
6) เครื่อง centrifuge (KOKUSAN Model H-103N)
7) เครื่องเขย่า (INNOVA 23000)
8) เครื่องชั่ง (SORTORIUS Model BP 121S, BP 3100S)

(2) เครื่องแก้วและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ต่างๆ

1) Beaker
2) Cylinder
3) Digestion apparatus
4) Digestion tube
5) Erlenmeyer flask
6) Leaching tube
7) Marker
8) Pipet
9) Test tube
10) Reagent vessel
11) Volumetric flask
12) Volumetric pipet
13) กระดาษกรองเบอร์ 42, 93
14) กรวยกรอง
15) ถุงพลาสติก
16) แท่งแก้วคน
17) หลอด centrifuge ขนาด 50 มล.
18) หลอดหยด
19) และอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1) Acidified sodium chloride

2) Ammonium acetate

3) Ascobic acid

4) Boric acid – indicator solution

5) Bromocresol green

6) Buffer pH 4, pH 7

7) EDTA

8) Ethyl alcohol

9) Ferrous sulfate

10) Methyl red

11) Mixed acid (HNO_3 : $HClO_4$)

12) O-phenanthroline indicator

13) Potassium dichromate

14) Sodium chloride

15) Sodium hydroxide

16) Standard solution (K , Na , Ca , Mg , Pb)

17) Sulfuric acid

18) น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลองกับดินบริเวณโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่ ชื่อ กิมหลี่หล่อหลอมโลหะ โรงงานตั้งอยู่ที่ อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง โดยทำการเก็บตัวอย่างดิน 4 จุด ซึ่งมีการปนเปื้อนตะกั่วในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1

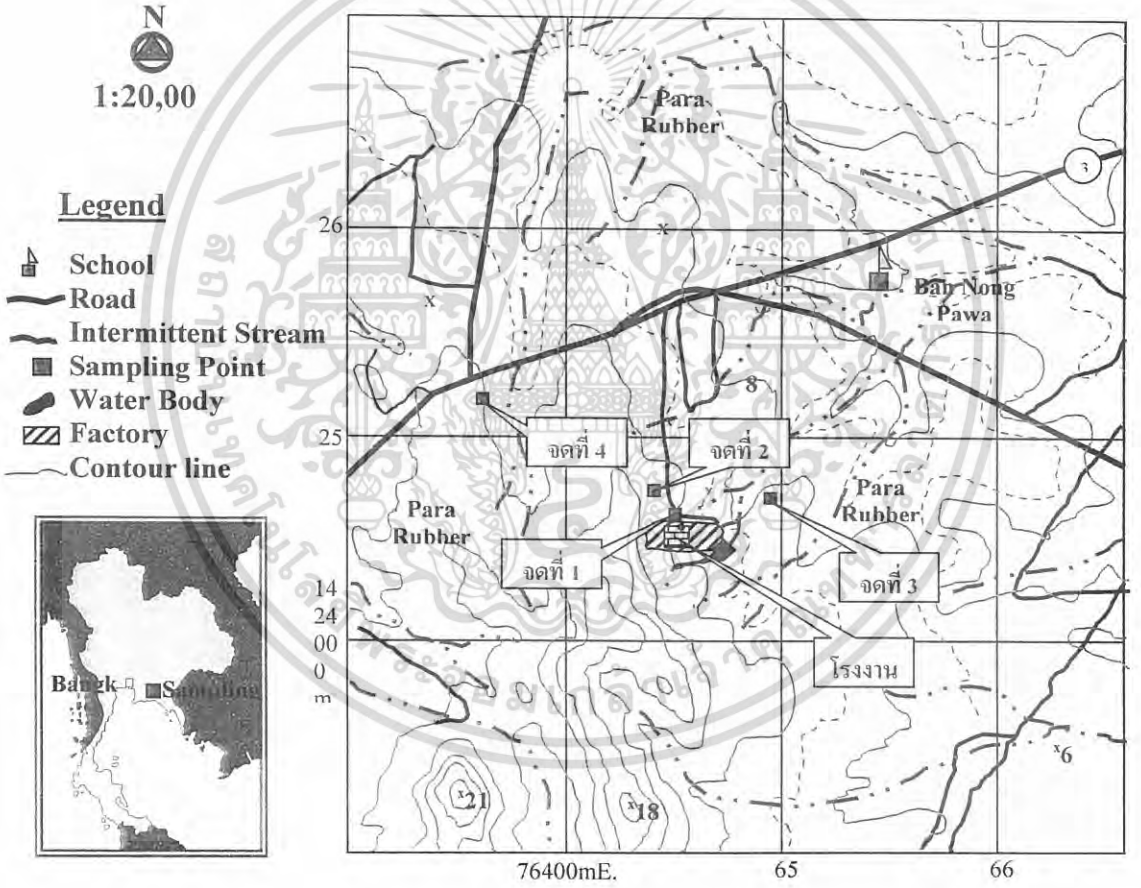
จุดที่ 1 ติดกับโรงงาน

จุดที่ 2 ห่างจากโรงงานประมาณ 100 เมตร

จุดที่ 3 ห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร

จุดที่ 4 ห่างจากโรงงานประมาณ 1000 เมตร (จุดอ้างอิง)

โดยเก็บตัวอย่างดินที่ 2 ระดับความลึก คือ 0-15 ซม. และ 15-30 ซม.



รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงที่ตั้งโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าและตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินโดยการเจาะดินเป็นหลุมแล้วเก็บตัวอย่างดินประมาณ 10 กก. สำหรับดินแต่ละความลึก 2 ระดับ คือ 0-15 cm. และ 15-30 cm. เพื่อนำไปวิเคราะห์

4.4 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินทั้งหมดมาผึ่งในที่ร่ม (air dry) บดด้วยโกร่งบดดินและร่อนเพื่อแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 mm. เพราะว่า มากกว่า 90% ของการปนเปื้อนน่าจะปรากฏในอนุภาค 2 mm. อ้างจาก (Wasay et al. 2001) หลังจากนั้นทำการร่อนผ่านตะแกรงด้วย Sieve shaker (ORTO-ALRESA Model TA 002) เพื่อแยกอนุภาคขนาดต่างๆ 4 กลุ่มดังนี้

(1) อนุภาคขนาด น้อยกว่า 2 mm. (fine earth)
(2) อนุภาคขนาด น้อยกว่า 2 - 0.5 mm (ขนาดหยาบ)
(3) อนุภาคขนาด 0.5 - 0.1 mm. (ขนาดปานกลาง)
(4) อนุภาคขนาด น้อยกว่า 0.1 mm. (ขนาดละเอียด)

โดยขนาดมากกว่า 2 mm. ไม่นำมาใช้ในการทดลอง

4.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์

4.5.1 วิเคราะห์คุณสมบัติเคมีเบื้องต้นของดิน

(1) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ใช้อัตราส่วน ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:2.5 โดยทำการชั่งดิน มา 10 g. บรรจุในกระป๋องพลาสติกเติมน้ำกลั่นลงไป 25 ml. เขย่าด้วยเครื่องเขย่า (INNOVA 23000) ใช้ความเร็วที่ 180 รอบ/นาที เป็นเวลานาน 30 นาที ทำการวัดสารละลายดินที่ได้ด้วยเครื่อง pH meter Model HI 8424

(2) การนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity) ใช้อัตราส่วน ดิน:น้ำเท่ากับ 1:2.5 โดยทำการชั่งดิน 10 g. บรรจุในกระป๋องพลาสติกเติมน้ำกลั่นลงไป 25 ml. เขย่าด้วยเครื่องเขย่า (INNOVA 23000) ใช้ความเร็วที่ 180 รอบ/นาที เป็นเวลานาน 30 นาที แล้วทำการวัดสารละลายดินด้วยเครื่อง EC meter Model HI 8733

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ชั่งดินโดยแบ่งแต่ละอนุภาคตามนี้ <2.0 mm. ประมาณ 1.5 g., 0.5 mm. ประมาณ 3.0 g., 0.1 mm. และ <0.1 mm. ประมาณ 1.0 g. บรรจุดินใน leaching tube ที่รองก้นด้วย filter pulp (กระดาษกรองชิ้นเล็กๆ ต้มในน้ำเดือดจนยุ่ย) แล้วชะดินด้วยสารละลาย NH_4OAc pH 7.0 100 ml. จนดินอิ่มตัวด้วย NH_4^+ (saturation) ล้าง NH_4OAc ส่วนเกินด้วย ethyl alcohol 100 ml. และแทนที่ NH_4^+ ด้วย acidified NaCl 100 ml. นำสารละลายที่ได้ไปกลั่นด้วย NaOH โดยใช้ H_3BO_3 จับปริมาณ NH_4^+ จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับ H_2SO_4 จนสารละลายเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง นำค่าที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณหาค่า CEC

(5) เบสที่แลกเปลี่ยนได้ (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+) สกัดดินด้วย NH_4OAc pH 7.0 นำสารละลายที่ได้ไปวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer Model Hitachi Z8200 สำหรับแคลเซียม แมกนีเซียม เติม strontium chloride (ชั่ง $SrCl_2$ 72 g. ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรใน Volumetric flask 1,000 ml. โดยใช้ในปริมาณ 25% ของปริมาตรสุดท้าย) แล้วนำไปเทียบความเข้มข้นกับ standard solution

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

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 solution มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ใส่ลงในแต่ละ volumetric flasks ขนาด 50 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 50 มล.

การเตรียม standard solution Ca ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm จาก stock standard solution 100 ppm โดยการดูด stock standard solution มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ใส่ลงในแต่ละ volumetric flasks ขนาด 50 มล. และใส่ $SrCl_2$ 12.5 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 50 มล.

การเตรียม standard solution Mg ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 ppm จาก stock standard solution 100 ppm โดยการดูด stock standard solution มา 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 และ 7.5 มล. ใส่ลงในแต่ละ volumetric flasks ขนาด 50 มล. และใส่ $SrCl_2$ 12.5 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 50 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 วิเคราะห์หาปริมาณ Total Pb ที่มีอยู่ในดิน

ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนทั้งหมดในดิน วิเคราะห์ได้โดยใช้กรดไนตริกและกรดเปอร์คลอริก ด้วยวิธี wet digestion ตามวิธีของ Michael., 1996 (แสดงในรูปที่ 4.2) ดังนี้

(1) ชั่งตัวอย่างดิน 1 g ใส่ลงในหลอด digest tube

(2) เติมกรดผสมระหว่างกรดไนตริกกับกรดเปอร์คลอริก ในสัดส่วน 3:1 , HNO_3: $HClO_4$ ในปริมาณ 10 มล.

(3) นำไปตั้งบนเตา digest โดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 80°c ใช้เวลา 30 นาที เพิ่มเป็น100°c อีก 30 นาที และเพิ่มเป็น 130°c อีก 30 นาที สุดท้ายเพิ่มอุณหภูมิเป็น 150°c ใช้เวลาจนกว่าสารละลายเกือบแห้ง ดินจะมีสีซีดจนเป็นสีขาวและมีควันหรือไอสีขาวขึ้นจะถือว่า digest เสร็จสมบูรณ์

(4) หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มล. ด้วยน้ำกลั่น

(5) นำไปวัดหาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

4.6 ขั้นตอนการสกัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีล้างดิน (soil washing)

การสกัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัดคือ EDTA ทำการเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นของน้ำยาสกัด (mole) : ความเข้มข้นของตะกั่ว (mole) ที่แตกต่างกัน โดยใช้สัดส่วน (0.5: 1), (1.0 :1), (2.0 :1), (3.0: 1), (5.0 :1) และ (10.0: 1) ซึ่งมีวิธีการทำดังนี้ (แสดงไว้ในรูปที่ 4.3)

(1) ทำการบรรจุดินลงในหลอด centrifuge ขนาด 50 ml. จำนวน 5.00 g สำหรับดินเนื้อหยาบและ 2.5 g สำหรับดินเนื้อละเอียด เติมน้ำยาสกัดลงไปโดยใช้สัดส่วนที่แตกต่างกันตามขนาดของอนุภาคดังนี้ (แสดงในรูป 4.2)

- อนุภาคขนาดหยาบ น้อยกว่า 2 mm. และ 0.5 mm. ใช้สัดส่วน L/S = 5:1
- อนุภาคขนาดละเอียด 0.1 mm. และ น้อยกว่า 0.1 mm. ใช้สัดส่วน L/S = 10:1

(2) ทำการเขย่าโดยใช้เครื่องเขย่า (INNOVA 23000) นาน 1 ชั่วโมง ใช้ความเร็วที่ 180 รอบ/นาที

(3) นำไปวัด pH (Model HI 8424)

(4) นำไป centrifuge (KOKUSAN Model H-103N) ที่ความเร็ว 2,500 rpm เป็นเวลา 15 นาที

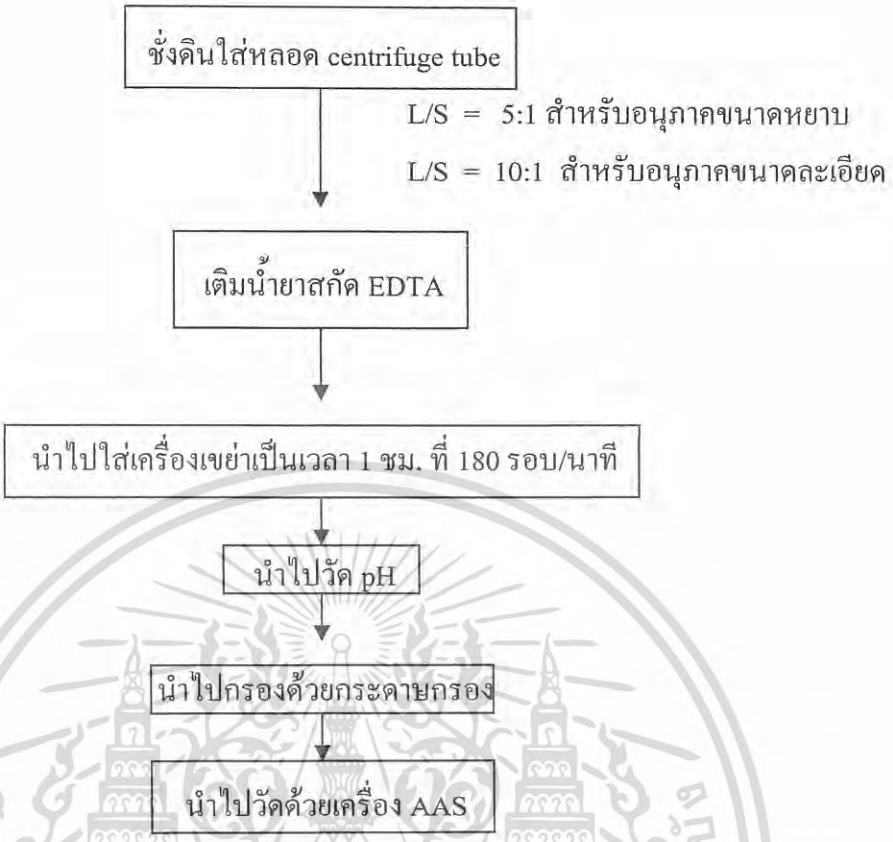
(5) กรองตัวอย่างดินด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

(6) นำไปวัดปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ด้วยเครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการสกัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (soil washing)

4.7 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยาสกัด EDTA

นำค่า Total Pb ที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณหาปริมาณสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA : Pb ที่สัดส่วนต่างๆ กัน ดังนี้ (0.5 :1), (1.0 : 1), (2.0 : 1), (3.0 : 1), (5.0 : 1) และ (10.0 : 1) นำ g. EDTA ที่ได้มาละลายน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 25 ml. เพื่อใช้เป็นน้ำยาสกัดตะกั่วออกจากดิน

โดยใช้สูตร $$\text{g EDTA} = \frac{\text{Mole Pb} \times B \times C \times 372.24}{1000}$$

Mole Pb = A / 207,190

A = ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน (mg/kg)

B = mole ของ EDTA : Pb

C = aliquot ของ EDTA ที่ใช้ในการสกัดตะกั่ว (ml)

372.24 = มวลโมเลกุลของ EDTA (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS 11.5 ปฏิบัติการบน Windows

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วในแต่ละสัดส่วนความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลการทดลอง

5.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

ดินจุดที่ 1 ตารางที่ 5.1 ในดินบน (0-15 cm) และดินล่าง (15-30 cm) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในช่วงกรดจัดถึงกรดจัดมาก (pH 4.60 - 5.11) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่อนข้างต่ำ ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าต่ำมากถึงต่ำ (0.19 - 0.77%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง (2.70 - 11.38 me/100g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงต่ำ (0.43 - 2.76 me/100g soil) ในขณะที่ Mg และ K มีค่าต่ำมากถึงปานกลาง (0.29 - 2.53 me/100g soil , 0.11 - 0.65 me/100g soil ตามลำดับ) ส่วน Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูง (0.2 - 1.04 me/100g soil)

ดินจุดที่ 2 ตารางที่ 5.2 ในดินบน (0-15 cm) และดินล่าง (15-30 cm) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในช่วงกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง (pH 5.83 - 6.16) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) มีค่าต่ำกว่าดินจุดที่ 1 เล็กน้อย ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าต่ำมากถึงค่อนข้างสูง (0.20 - 2.90%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ (1.63 - 9.35 me/100g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงต่ำ (0.41 - 3.76 me/100g soil) Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง (0.14 - 1.40 me/100g soil) K มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงต่ำ (0.07 - 0.36 me/100g soil) และ Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำถึงสูง (0.15 - 1.06 me/100g soil)

ดินจุดที่ 3 ตารางที่ 5.3 ในดินบน (0-15 cm) และดินล่าง (15-30 cm) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นกรดจัดมาก (pH 4.61 - 5.06) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) มีค่าต่ำกว่าดินจุดที่ 2 ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าต่ำมากถึงปานกลาง (0.33 - 2.22%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ (2.01 - 6.21 me/100g soil)ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca และ Mg มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมาก (0.05 - 0.47 me/100g soil , 0.05 - 0.29 me/100g soil ตามลำดับ) ในขณะที่ K มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงต่ำ (0.06- 0.33 me/100g soil) ส่วน Na มีค่าอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูง (0.31 - 1.10 me/100g soil)

ดินจุดที่ 4 ตารางที่ 5.4 ในดินบน (0-15 cm) และดินล่าง (15-30 cm) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นกรดปานกลางถึงกรดจัด (pH 5.50 - 5.70) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) มีค่าต่ำกว่าดินจุดอื่นๆ มาก ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) มีค่าต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ (0.18-1.33%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ (1.74 - 6.36 me/100g soil) ในกรณีของด่างที่แลกเปลี่ยนได้ของ Ca , Mg และ K มีค่าต่ำมาก (0.22 - 1.44 me/100g soil , 0.08 - 0.35 me/100g soil , 0.08 - 0.35 me/100g soil ตามลำดับ) ส่วน Na มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูง (0.20 - 1.36 me/100g soil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 1

Dept (cm)	อนุภาค (mm.)	pH ดิน:น้ำ 1:2.5	EC (µs/cm)	% OM	Exchangeable base (me/100gsoil)				CEC me/100g soil	TotalPb (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na		
0-15	<2	4.81	182	0.29	0.85	0.84	0.40	0.63	3.55	180
	0.5	4.73	133	0.19	0.43	0.29	0.20	0.43	3.50	128
	0.1	4.60	202	0.45	0.96	0.69	0.41	0.73	6.09	290
	<0.1	4.75	248	0.72	1.59	0.91	0.65	1.04	9.46	330
15-30	<2	5.11	138	0.42	1.49	1.62	0.25	0.79	8.84	8.75
	0.5	4.89	100	0.25	0.92	0.84	0.11	0.20	2.70	7.50
	0.1	5.00	147	0.48	2.31	1.12	0.24	0.64	11.38	10
	<0.1	5.05	195	0.77	2.76	2.53	0.38	0.91	8.71	20

ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 2

Dept (cm)	อนุภาค (mm.)	pH ดิน:น้ำ 1:2.5	EC (µs/cm)	% OM	Exchangeable base (me/100gsoil)				CEC me/100g soil	TotalPb (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na		
0-15	<2	6.16	92	1.43	2.51	1.15	0.24	0.26	3.67	164
	0.5	6.04	50	0.52	0.74	0.25	0.09	0.19	1.64	85
	0.1	5.83	87	1.38	1.63	0.48	0.18	0.47	3.68	177
	<0.1	6.06	149	2.90	3.76	1.39	0.36	0.77	7.33	331
15-30	<2	5.89	41	0.52	1.59	1.40	0.26	0.72	9.35	33
	0.5	6.13	25	0.20	0.41	0.14	0.07	0.15	1.63	22
	0.1	5.98	43	0.55	1.00	0.35	0.19	0.70	2.57	22
	<0.1	5.96	66	0.94	2.09	0.66	0.34	1.06	3.46	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 3

Dept (cm)	อนุภาค (mm.)	pH ดิน:น้ำ 1:2.5	EC (µs/cm)	% OM	Exchangeable base (me/100gsoil)				CEC me/100g soil	TotalPb (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na		
0-15	<2	4.97	83	1.01	0.27	0.15	0.19	1.26	3.30	37
	0.5	5.06	72	0.82	0.24	0.11	0.11	0.23	2.80	20
	0.1	4.95	76	0.96	0.20	0.17	0.21	0.75	3.31	11
	<0.1	4.92	143	2.22	0.47	0.29	0.33	0.87	6.21	71
15-30	<2	4.61	72	0.53	0.12	0.09	0.11	0.83	3.68	24
	0.5	4.88	58	0.33	0.05	0.05	0.06	0.31	2.01	14
	0.1	5.00	71	0.56	0.06	0.09	0.13	0.73	3.73	24
	<0.1	4.68	104	1.18	0.19	0.16	0.19	1.10	5.46	62

ตารางที่ 5.4 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 4

Dept (cm)	อนุภาค (mm.)	pH ดิน:น้ำ 1:2.5	EC (µs/cm)	% OM	Exchangeable base (me/100gsoil)				CEC me/100g soil	TotalPb (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na		
0-15	<2	5.64	43	0.50	0.40	0.14	0.10	1.36	2.37	26
	0.5	5.59	30	0.25	0.22	0.08	0.05	0.67	2.06	16
	0.1	5.62	38	0.42	0.26	0.13	0.10	0.88	2.22	20
	<0.1	5.51	83	1.33	1.03	0.31	0.21	1.05	4.80	58
15-30	<2	5.50	42	0.34	0.57	0.15	0.07	0.54	3.34	28
	0.5	5.76	27	0.18	0.31	0.08	0.04	0.20	1.74	18
	0.1	5.51	39	0.33	0.60	0.18	0.08	0.80	2.29	25
	<0.1	5.73	87	0.91	1.44	0.35	0.19	1.10	6.36	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

จากผลการทดลองศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพในตารางที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าในตัวอย่างดินทุกจุดนั้นเป็นดินร่วนปนทรายทั้งหมดที่มี clay 15.4-17.8% ยกเว้นในดินบนจุดที่ 1 ที่เป็นดินร่วนเหนียวปนทรายมี clay 21.3% ทั้งนี้ในตัวอย่างดินทั้งหมดจะมีอนุภาคทรายเป็นจำนวนมาก 60-75% ซึ่งเป็นผลสนับสนุนในการใช้เทคนิคการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (soil washing) ผลของการปรับปรุงที่ดินและการกดทับจากเครื่องจักรขณะก่อสร้างโรงงาน ทำให้ดินจุดที่ 1 มีค่าความหนาแน่นรวมสูงกว่าในดินจุดอื่นๆ ค่า K (saturated) ที่สูงนั้นก็มีผลส่งเสริมในการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (soil washing) และวิธีการชะล้างดิน (soil flushing) เช่นกัน ในตัวอย่างดินทั้งหมดมีอนุภาคขนาดหยาบ (2.0-0.25 mm) ประมาณ 60-70% ทั้งนี้การแยกอนุภาคระหว่างหยาบกับละเอียดนั้น จะมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินได้ดีสำหรับตะกั่วที่จับกับอนุภาคขนาดหยาบ (Dennis et al ; 1995) อย่างไรก็ตามผลของการศึกษาลักษณะคุณสมบัติทางกายภาพของดินพบว่าเนื้อดินของตัวอย่างดินอยู่ในชั้นดินร่วนปนทราย มีค่า K (saturated) ที่สูงและมีอินทรียวัตถุต่ำ ทำให้ตัวอย่างดินทุกจุดเหมาะสมที่จะทำการกำจัดสารพิษออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด

5.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน

ปริมาณตะกั่วที่มีอยู่ในดินจุดที่ 1 คือ 180 mg kg^{-1} และจุดที่ 2 มีปริมาณตะกั่วในดินเท่ากับ 137.5 mg kg^{-1} ในขณะที่ดินจุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีปริมาณตะกั่วในดินเท่ากับ 37.5 mg kg^{-1}, 26.38 mg kg^{-1} ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าดินจุดที่ 1 และจุดที่ 2 มีปริมาณตะกั่วในดินมากกว่าดินจุดที่ 4 ถึง 7 เท่า และ 5 เท่าตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากดินอยู่ใกล้บริเวณโรงงานหล่อหลอมแบตเตอรี่เก่า และมักจะพบว่าค่าตะกั่วในดินบน (0-15 cm) มีปริมาณตะกั่วมากกว่าในดินล่าง (15-30 cm) และในดินจุดที่ 4 ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงนั้นมีปริมาณตะกั่วในดินน้อยกว่าจุดอื่นๆ ถือได้ว่าไม่มีการปนเปื้อนตะกั่วในดินเลย อย่างไรก็ตามตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินทุกจุดมีปริมาณไม่เกินค่ามาตราฐานระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอร์แลนด์ (200 mg kg^{-1})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

จุดดิน	Depth	Bulk density ($g\ cm^{-3}$)	K (saturated) ($cm\ hr^{-1}$)	Moisture Retention (%)		3-phase analysis (% by Vol.)			Particle Distribution (%)			Textural Class
				pF 2.5	pF 4.2	Solid	Liquid	Air	Sand	silt	Clay	
1	0-15	1.75	14.2	10.3	8.98	64.3	13.1	22.6	57.8	20.9	21.3	SCL
	15-30	1.80	11.7	9.30	7.80	67.5	13.0	19.5	63.3	18.9	17.8	SL
2	0-15	1.26	66.2	17.8	15.5	48.2	25.6	26.3	62.9	21.7	15.4	SL
	15-30	1.56	63.5	11.5	10.2	59.6	19.3	21.2	63.0	21.5	15.5	SL
4	0-15	1.47	79.2	10.3	8.14	56.1	15.8	28.0	77.2	11.5	11.3	SL
	15-30	1.56	56.6	10.3	8.18	60.0	17.4	22.6	75.4	10.6	14.0	SL

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ออกจากดินโดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

(1) ดินจุดที่ 1 (ดินบริเวณโรงงานที่มีการปนเปื้อนอย่างรุนแรง)

(1.1) ดินบน (0-15 cm)

จากตารางที่ 5.6 ในกรณีอนุภาคขนาด < 2 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 3:1 สามารถสกัดตะกั่วออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (87.8%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 2:1 (86.6%) อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่อนุภาคขนาด 0.5 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 5:1 สามารถสกัดตะกั่วออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (77.1%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 10:1 (74.2%) ส่วนอนุภาคขนาด 0.1 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 สามารถสกัดตะกั่วออกจากดินได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (86.5%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (81.8%) และ 3:1 (80.4%) ซึ่งให้ผลคล้ายกับอนุภาคขนาด < 0.1 mm

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัด Pb สูงสุดที่อนุภาคขนาด < 0.1 mm ซึ่งใกล้เคียงกับอนุภาคขนาด < 2 mm และ 0.1 mm ในขณะที่อนุภาคขนาด 0.5 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ต่ำที่สุด จากการทดลองในครั้งนี้จะเห็นว่า กรณีนี้อาจจะไม่ต้องแยกอนุภาคก่อนสกัด เพราะสามารถกำจัดตะกั่วได้มีประสิทธิภาพสูงเทียบเท่ากับที่แยกอนุภาค

(1.2) ดินล่าง (15-30 cm)

จากตารางที่ 5.7 ในกรณีของดินล่างพบว่าทุกขนาดของอนุภาคสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1, 3:1, 2:1, 1:1 และ 0.5:1 ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัด Pb สูงสุดที่อนุภาคขนาด 0.5 mm และต่ำสุดที่อนุภาคขนาด < 0.1 mm โดยรวมจะเห็นว่าทุกขนาดของอนุภาคมีแนวโน้มว่าประสิทธิภาพในการกำจัด Pb เพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มความเข้มข้นของ EDTA ขึ้น

(2) ดินจุดที่ 2 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 100 เมตร)

(2.1) ดินบน (0-15 cm)

จากตารางที่ 5.8 ในกรณีอนุภาคขนาด < 2 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (90.1%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (83.4%) และ 0.5:1 (66.7%) ในขณะที่อนุภาคขนาด 0.5 mm พบว่าสัดส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (87.6%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (84.9%) และ 3:1 (76.7%) ซึ่งให้ผลคล้ายกับอนุภาคขนาด < 0.1 mm ส่วนอนุภาคขนาด 0.1 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (97%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (87.7%) และ 2:1 (85.9%)

จากรูปที่ 5.3 อนุภาคขนาด 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงที่สุดแต่จะเห็นว่าไม่แตกต่างกับอนุภาคขนาดอื่นๆมากนัก

(2.2) ดินล่าง (15-30 cm)

จากตารางที่ 5.9 ในกรณีอนุภาคขนาด < 2 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (57.7%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (32.5%) และ 3:1 (21.2%) ซึ่งให้ผลคล้ายกับอนุภาคขนาด 0.1 mm ในขณะที่อนุภาคขนาด 0.5 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (31.2%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (27.1%) และ 3:1 (23.3%) ส่วนอนุภาคขนาด < 0.1 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (33.7%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (30.9%) และ 2:1 (29.5%) อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าที่ความเข้มข้น 5:1 กับ 2:1 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากรูปที่ 5.4 พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 ค่อนข้างเด่นในอนุภาคขนาด < 2 mm และ 0.1 mm ซึ่งจะเห็นว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด Pb สูง ในขณะที่อนุภาคขนาด 0.5 mm และ < 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ต่ำ

(3) ดินจุดที่ 3 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร)

(3.1) ดินบน (0-15 cm)

จากตารางที่ 5.10 ในกรณีอนุภาคขนาด < 2 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (70.4%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (27.8%) และ 3:1 (17.1%) และลดลงอย่างรวดเร็วที่สัดส่วนความเข้มข้น 2:1 (1.9%) ในขณะที่อนุภาคขนาด 0.5 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (25.6%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 3:1 (17.7%) และ 2:1 (17%) ส่วนกรณีอนุภาคขนาด 0.1 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (57.5%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (52.7%) และ 3:1 (50.9%) และกรณีอนุภาคขนาด < 0.1 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าสัดส่วนความเข้มข้นที่ 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (29.5%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (25.6%) และ 3:1 (22.2%) ส่วนที่สัดส่วนความเข้มข้น 2:1 (20.8%) และ 1:1 (20.2%) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากรูปที่ 5.5 พบว่าอนุภาคขนาด < 2 mm ที่สัดส่วนความเข้มข้น 2:1 มีประสิทธิภาพในการสกัด Pb ได้ค่อนข้างต่ำแต่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มสัดส่วนความเข้มข้น ในขณะที่อนุภาคขนาด 0.5 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ต่ำสุด

(3.2) ดินล่าง (15-30 cm)

จากตารางที่ 5.11 ในกรณีอนุภาคขนาด < 2 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 5:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (27.7%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 10:1 (25.9%) และ 3:1 (21%) ในขณะที่อนุภาคขนาด 0.5 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 5:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (55.4%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 10:1 (48.3%) และ 3:1 (39.3%) ส่วนกรณีอนุภาคขนาด 0.1 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (58.4%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (47.6%) และ2:1 (35.6%) และกรณีอนุภาคขนาด < 0.1 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้นที่ 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (3.4%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (2.7%), 3:1 (2.6%) และ 2:1 (2.5%) อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าที่ความเข้มข้น 5:1, 3:1 และ 2:1 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากรูปที่ 5.6 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัด Pb สูงสุดที่อนุภาคขนาด 0.1 mm ในขณะที่อนุภาคขนาด < 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ต่ำกว่าอนุภาคขนาดอื่นมาก

(4) ดินจุดที่ 4 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 1,000 เมตร , ดินอ้างอิง)

(4.1) ดินบน (0-15 cm)

จากตารางที่ 5.12 ในกรณีอนุภาคขนาด < 2 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (12.5%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (8.5%) และ 3:1 (5.8%) ในขณะที่อนุภาคขนาด 0.5 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (52.1%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 2:1 (37.5%) และ 5:1 (34.7%) ส่วนกรณีอนุภาคขนาด 0.1 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (56.6%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (46.2%) และ 3:1 (41.4%) ซึ่งให้ผลคล้ายกับอนุภาคขนาด < 0.1 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.7 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัด Pb สูงสุดที่อนุภาคขนาด 0.1 mm ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดอนุภาค 0.5 mm และ < 0.1 mm ในขณะที่อนุภาคขนาด < 2 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ต่ำกว่าอนุภาคขนาดอื่น

(4.2) ดินล่าง (15-30 cm)

จากตารางที่ 5.13 ในกรณีอนุภาคขนาด < 2 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (42.5%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 3:1 (32.7%) และ 5:1 (30.9%) ในขณะที่อนุภาคขนาด 0.5 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (24.5%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (22%) และ 3:1 (19.5%) ส่วนกรณีอนุภาคขนาด 0.1 mm พบว่าสัดส่วนความเข้มข้น mole ของ EDTA:Pb ที่ความเข้มข้น 10:1 มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงที่สุด (60.9%) รองลงมาที่สัดส่วนความเข้มข้น 5:1 (41.1%) และ 3:1 (32.6%) ซึ่งให้ผลคล้ายกับอนุภาคขนาด < 0.1 mm

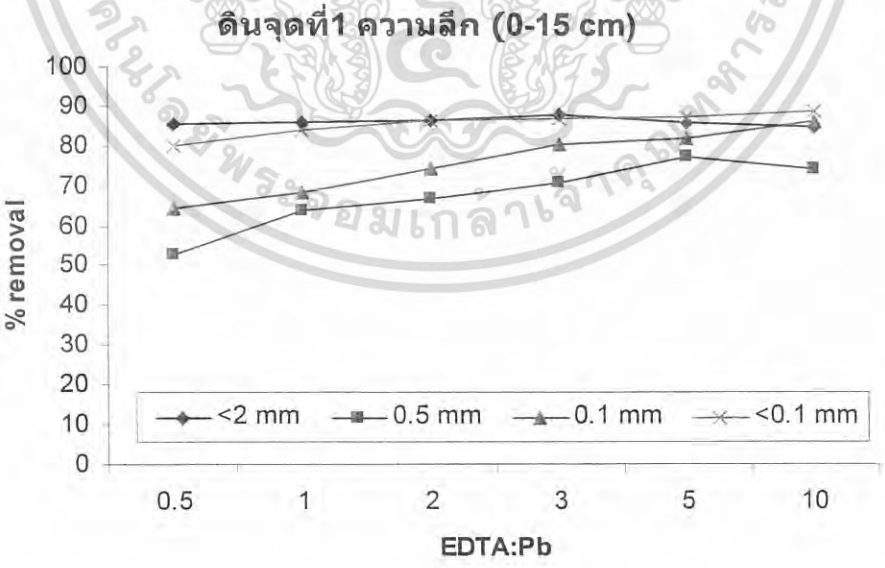
จากรูปที่ 5.8 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัด Pb สูงสุดที่อนุภาคขนาด < 0.1 mm ซึ่งใกล้เคียงกับอนุภาคขนาด 0.1 mm และมีประสิทธิภาพต่ำสุดที่อนุภาคขนาด 0.5 mm ซึ่งมีแนวโน้มว่าถ้าเพิ่มความเข้มข้นของ EDTA จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 1 ความลึก (0-15 cm)				
EDTA:Pb	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm	0.5 mm	0.1 mm	<0.1 mm
0.5:1	85.6ab	52.9f	64.5d	79.9d
1:1	85.8bc	63.9e	68.3d	83.9c
2:1	86.6ab	66.8d	74.3c	86.3b
3:1	87.8a	70.9c	80.4b	87.1b
5:1	86.0bc	77.1a	81.8b	87.5b
10:1	84.7c	74.2b	86.5a	89.0a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



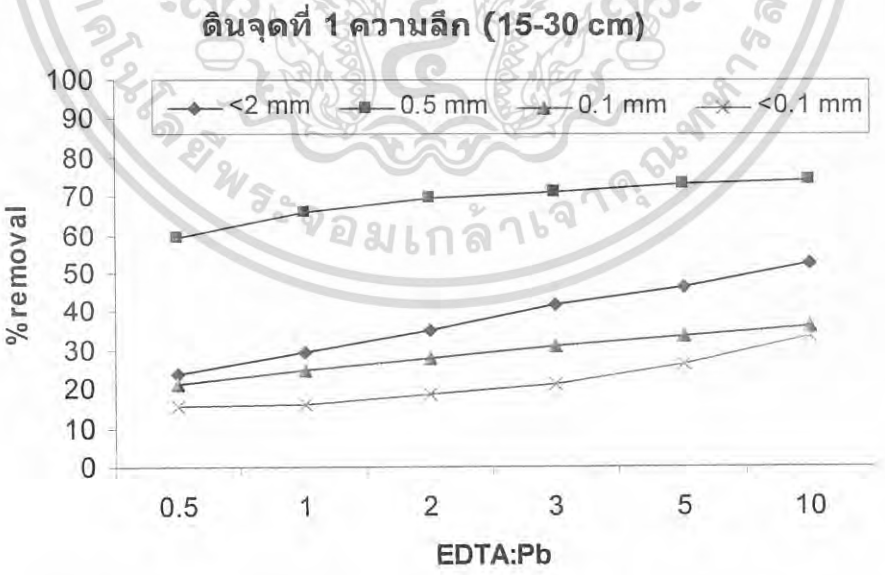
รูปที่ 5.1 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 1 ความลึก (15-30 cm)				
EDTA:Pb	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm	0.5 mm	0.1 mm	<0.1 mm
0.5:1	23.5f	59.2e	21.0d	15.5d
1:1	29.2e	66.1d	25.0c	15.7d
2:1	35.2d	69.7c	27.7c	18.5cd
3:1	41.7c	71.2bc	31.0b	21.2c
5:1	46.6b	73.0ab	33.7ab	26.2b
10:1	52.6a	74.4a	36.1a	33.2a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



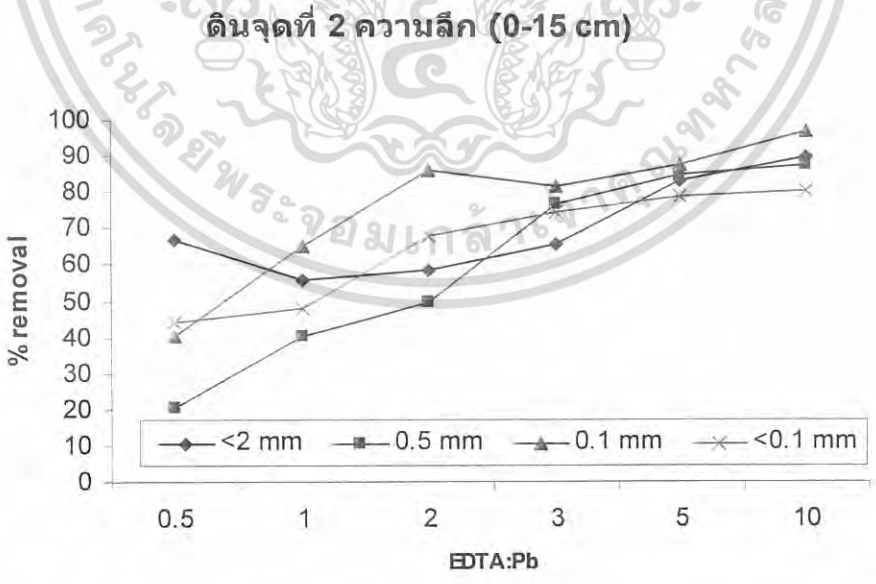
รูปที่ 5.2 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 2 ความลึก (0-15 cm)				
EDTA:Pb	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm	0.5 mm	0.1 mm	<0.1 mm
0.5:1	66.7c	20.4e	40.2e	43.9e
1:1	55.5d	40.2d	65.3d	48.1d
2:1	58.5d	49.4c	85.9b	67.9c
3:1	65.5c	76.7b	81.5c	74.6b
5:1	83.4b	84.9a	87.7b	78.7a
10:1	90.1a	87.6a	97.0a	80.5a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



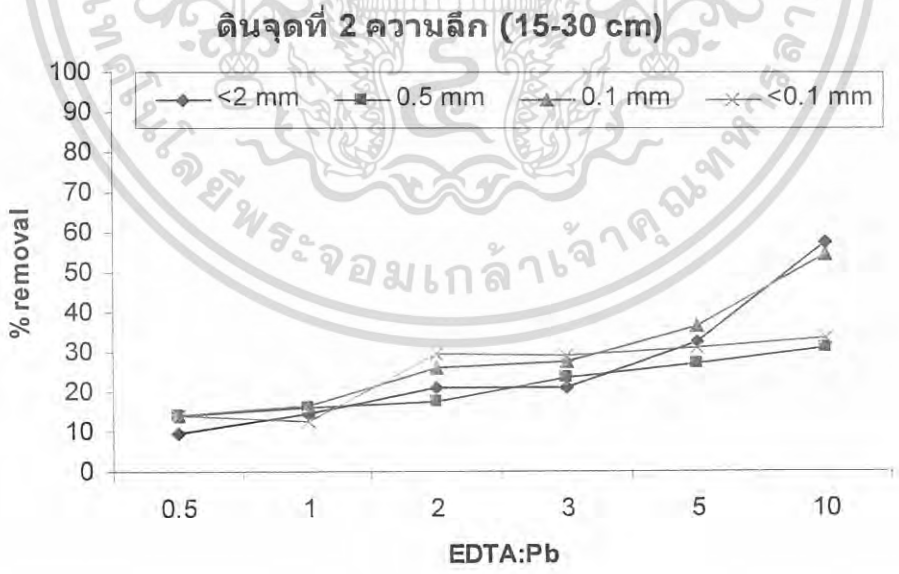
รูปที่ 5.3 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 2 ความลึก (15-30 cm)				
EDTA:Pb	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm	0.5 mm	0.1 mm	<0.1 mm
0.5:1	9.7e	13.8e	13.9d	14.1c
1:1	14.6d	15.9de	16.7d	12.5c
2:1	21.1c	17.7d	26.0c	29.5b
3:1	21.2c	23.3c	27.6c	29.2b
5:1	32.5b	27.1b	36.4b	30.9b
10:1	57.7a	31.2a	54.5a	33.7a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



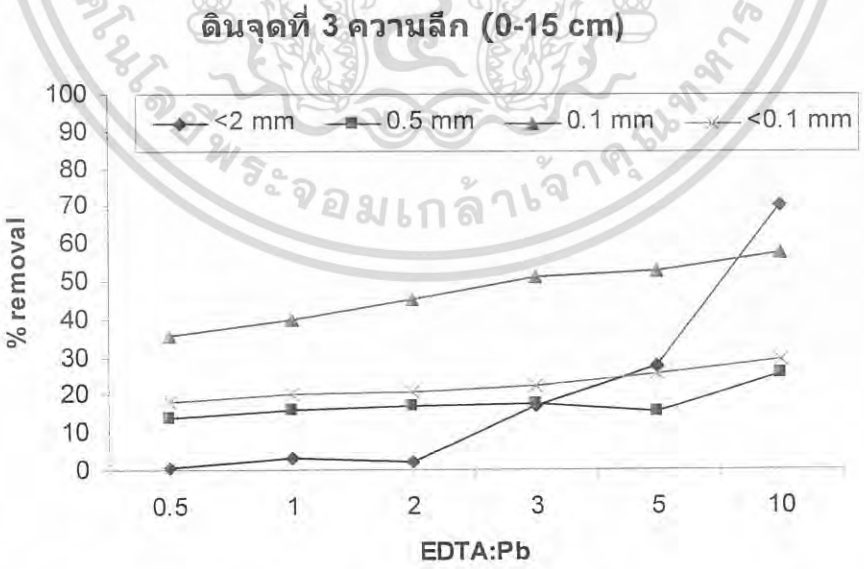
รูปที่ 5.4 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 3 ความลึก (0-15 cm)				
EDTA:Pb	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm	0.5 mm	0.1 mm	<0.1 mm
0.5:1	0.4d	14.1c	35.6e	17.9d
1:1	3.0d	16.1bc	39.9d	20.2cd
2:1	1.9d	17.0b	45.0c	20.8cd
3:1	17.1c	17.7b	50.9b	22.2c
5:1	27.8b	15.2bc	52.7b	25.6b
10:1	70.4a	25.6a	57.5a	29.5a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



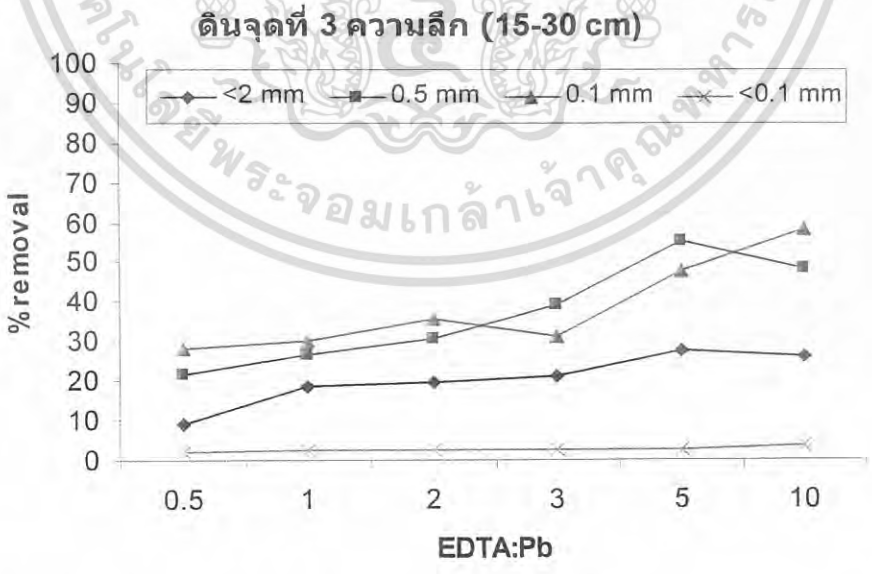
รูปที่ 5.5 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 3 ความลึก (15-30 cm)				
EDTA:Pb	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm	0.5 mm	0.1 mm	<0.1 mm
0.5:1	8.9c	21.4f	27.9e	2.0b
1:1	18.8b	26.6e	30.1de	2.3b
2:1	19.5b	30.8d	35.6c	2.5b
3:1	21.0b	39.3c	31.1d	2.6ab
5:1	27.7a	55.4a	47.6b	2.7ab
10:1	25.9a	48.3b	58.4a	3.4a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



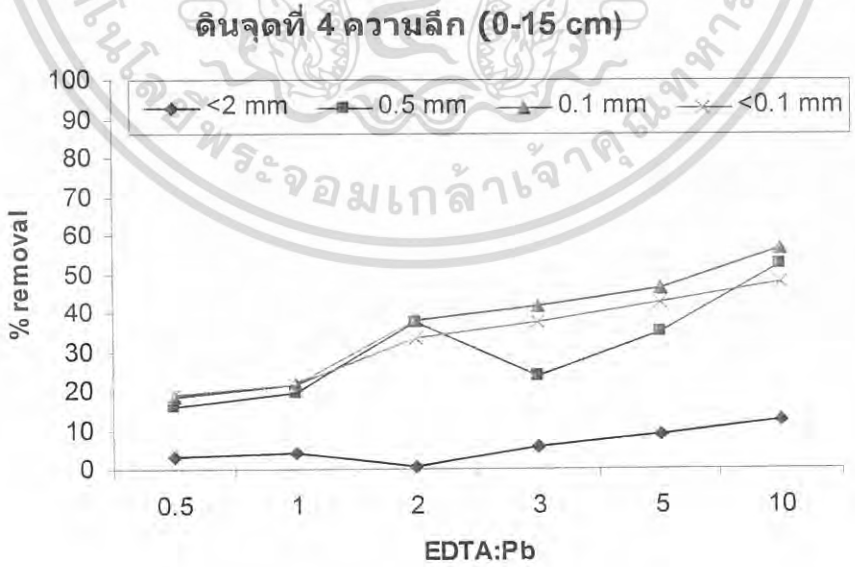
รูปที่ 5.6 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 4 ความลึก (0-15 cm)				
EDTA:Pb	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm	0.5 mm	0.1 mm	<0.1 mm
0.5:1	3.2c	15.9d	18.6d	18.9e
1:1	4.2c	19.4d	21.5d	21.7e
2:1	0.3d	37.5b	38.1c	33.3d
3:1	5.8c	23.8c	41.4c	37.4c
5:1	8.5b	34.7b	46.2b	42.7b
10:1	12.5a	52.1a	56.6a	47.9a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



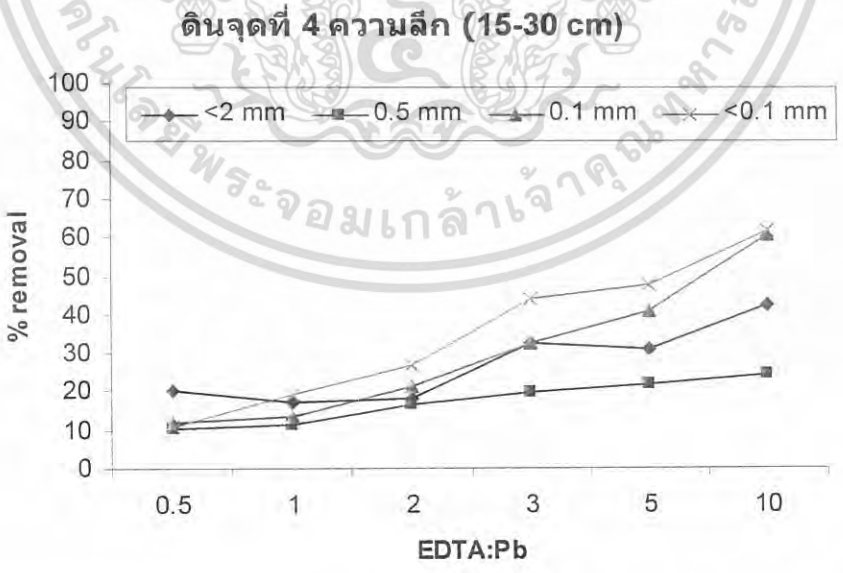
รูปที่ 5.7 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 4 ความลึก (15-30 cm)				
EDTA:Pb	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm	0.5 mm	0.1 mm	<0.1 mm
0.5:1	20.3c	10.1d	12.2e	10.8f
1:1	17.2c	11.5d	13.3e	19.4e
2:1	18.3c	16.6c	21.3d	26.7d
3:1	32.7b	19.5b	32.6c	43.9c
5:1	30.9b	22.0ab	41.1b	47.4b
10:1	42.5a	24.5a	60.9a	61.5a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



รูปที่ 5.8 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลการทดลองค่า pH ภายหลังการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

(1) ดินจุดที่ 1 (ดินบริเวณโรงงานที่มีการปนเปื้อนอย่างรุนแรง)

(1.1) ดินบน (0-15 cm)

จากตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.9 พบว่าดินเป็นกรดจัดมากมี pH อยู่ในช่วง 2.74-4.36 โดยทุกขนาดอนุภาคมีฤทธิ์ความเป็นกรดลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนความเข้มข้น EDTA:Pb ยกเว้นอนุภาคขนาด <2 mm ที่มีความเป็นกรดจัดมากกว่าอนุภาคขนาดอื่นๆ มาก

(1.2) ดินล่าง (15-30 cm)

จากตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.10 พบว่าดินเป็นกรดจัดมากมี pH อยู่ในช่วง 4.10-4.60 โดยทุกขนาดอนุภาคมีฤทธิ์ความเป็นกรดไม่แตกต่างกันถึงแม้จะเพิ่มสัดส่วนความเข้มข้น EDTA:Pb

(2) ดินจุดที่ 2 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 100 เมตร)

(2.1) ดินบน (0-15 cm)

จากตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.11 พบว่าดินเป็นกรดปานกลางมี pH อยู่ในช่วง 4.14-6.69 โดยทุกขนาดอนุภาคมีฤทธิ์ความเป็นกรดน้อยลงในช่วงแรกที่สัดส่วนความเข้มข้น 0.5:1 จนถึง 3:1 หลังจากนั้นเริ่มเป็นกรดมากขึ้น ยกเว้นอนุภาคขนาด 0.1 mm ที่มีแนวโน้มฤทธิ์ความเป็นกรดมากขึ้นตามสัดส่วนความเข้มข้น EDTA:Pb ที่เพิ่มขึ้น

(2.2) ดินล่าง (15-30 cm)

จากตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.12 พบว่าดินเป็นกรดปานกลางมี pH อยู่ในช่วง 4.05-6.19 โดยที่สัดส่วนความเข้มข้น 0.5:1 ทุกขนาดอนุภาคมีฤทธิ์ความเป็นกรดมากกว่าที่สัดส่วนความเข้มข้นอื่น

(3) ดินจุดที่ 3 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร)

(3.1) ดินบน (0-15 cm)

จากตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.13 พบว่าดินเป็นกรดจัดมี pH อยู่ในช่วง 3.75-5.97 โดยที่อนุภาคขนาด <2 mm ในทุกสัดส่วนความเข้มข้นมีฤทธิ์ความเป็นกรดน้อยกว่าอนุภาคขนาดอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3.2) ดินล่าง (15-30 cm)

จากตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.14 พบว่าดินเป็นกรดจัดมี pH อยู่ในช่วง 3.65-4.45 โดยทุกขนาดอนุภาคมีฤทธิ์ความเป็นกรดไม่แตกต่างกันถึงแม้จะเพิ่มสัดส่วนความเข้มข้น EDTA:Pb

(4) ดินจุดที่ 4 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 1,000 เมตร , ดินอ้างอิง)

(4.1) ดินบน (0-15 cm)

จากตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.15 พบว่าดินเป็นกรดจัดมี pH อยู่ในช่วง 4.11-5.22 โดยที่อนุภาคขนาด <2 mm ในทุกสัดส่วนความเข้มข้นมีฤทธิ์ความเป็นกรดมากกว่าอนุภาคขนาดอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด

(4.2) ดินล่าง (15-30 cm)

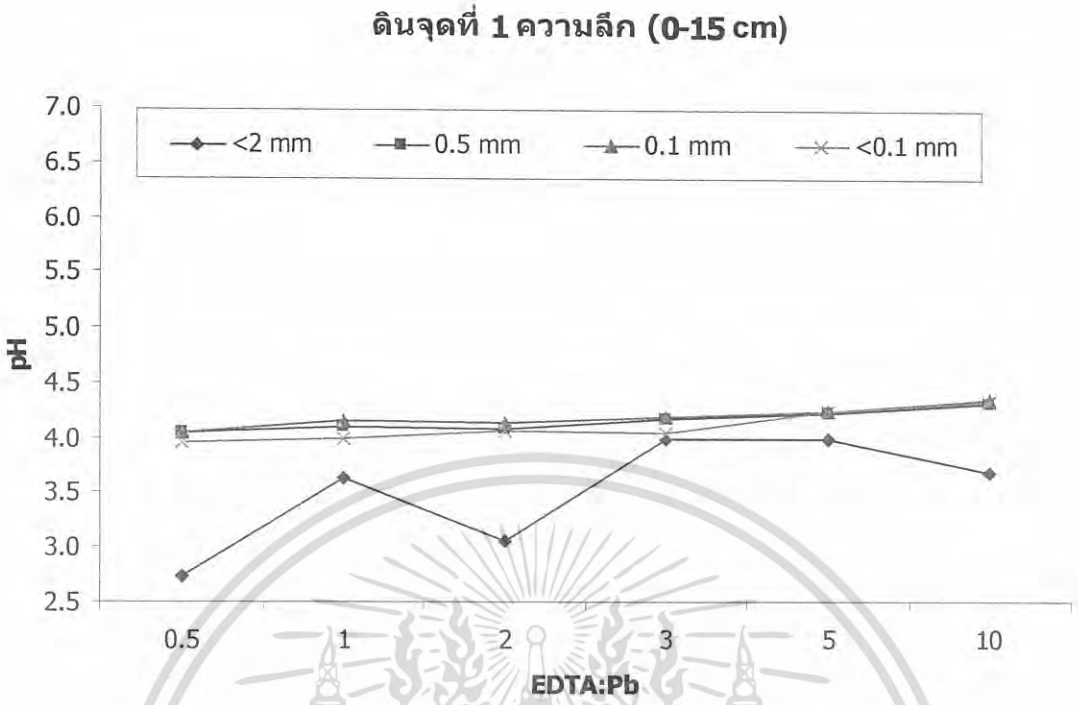
จากตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.16 พบว่าดินเป็นกรดจัดมี pH อยู่ในช่วง 3.30-5.57 โดยที่สัดส่วนความเข้มข้น 3:1 อนุภาคขนาด 0.5 mm มีฤทธิ์ความเป็นกรดน้อยมากในขณะที่สัดส่วนเดียวกัน อนุภาคขนาด 0.1 mm กลับมีฤทธิ์ความเป็นกรดมากกว่าอนุภาคขนาดอื่นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

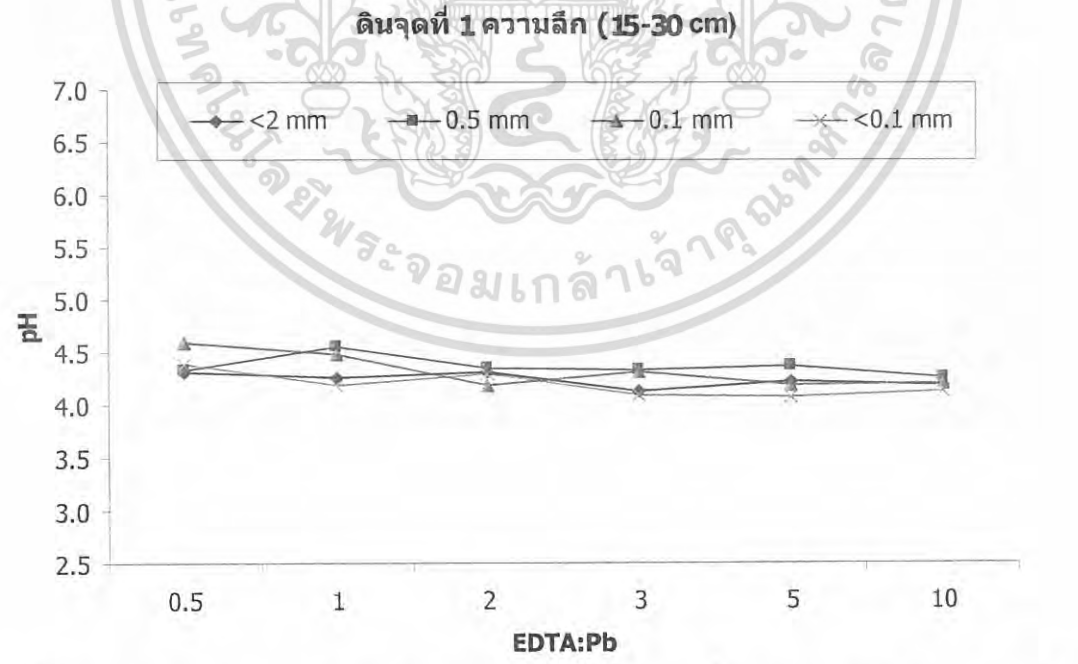
ตารางที่ 5.14 pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินโดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาดอนุภาค (mm)	Mole EDTA : Pb					
			0.5 : 1	1 : 1	2 : 1	3 :1	5 : 1	10 : 1
1	0-15	<2	2.74	3.64	3.06	3.99	4.00	3.69
		0.5	4.05	4.10	4.08	4.18	4.22	4.32
		0.1	4.05	4.15	4.14	4.20	4.25	4.36
		<0.1	3.95	3.99	4.06	4.04	4.24	4.34
	15-31	<2	4.31	4.26	4.31	4.13	4.23	4.18
		0.5	4.34	4.55	4.35	4.33	4.37	4.26
		0.1	4.60	4.48	4.18	4.32	4.19	4.21
		<0.1	4.39	4.18	4.30	4.10	4.08	4.13
2	0-15	<2	5.82	5.67	6.56	6.64	6.29	4.75
		0.5	5.56	5.68	6.64	6.48	5.42	4.42
		0.1	6.69	6.61	5.77	5.72	4.49	4.14
		<0.1	5.08	6.72	6.61	6.41	5.22	4.25
	15-30	<2	6.17	6.10	6.14	6.19	5.82	5.63
		0.5	5.15	5.92	5.86	5.74	4.84	4.05
		0.1	5.85	5.88	5.79	6.05	5.77	4.45
		<0.1	6.14	5.29	5.95	5.85	5.28	4.59
3	0-15	<2	5.20	5.40	5.97	5.57	4.12	3.91
		0.5	4.31	4.17	4.26	4.24	4.01	3.88
		0.1	4.38	4.41	4.20	4.42	4.20	4.03
		<0.1	4.34	4.25	4.19	3.92	3.85	3.75
	15-30	<2	4.03	4.10	4.05	4.07	3.81	3.65
		0.5	3.93	4.02	4.17	4.24	4.17	3.85
		0.1	4.22	4.28	4.18	4.24	3.94	3.81
		<0.1	4.22	4.45	3.97	4.00	3.86	3.78
4	0-15	<2	5.04	5.18	5.10	4.93	4.81	4.42
		0.5	5.07	5.22	5.17	5.14	4.68	4.53
		0.1	4.42	4.59	4.57	4.81	4.42	4.52
		<0.1	4.40	4.30	4.26	4.11	4.56	4.27
	15-30	<2	5.37	4.42	4.86	4.25	4.87	4.57
		0.5	4.81	4.70	4.62	5.57	4.45	4.04
		0.1	5.23	5.03	3.39	3.30	4.11	3.95
		<0.1	5.20	5.01	4.71	4.67	4.28	4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

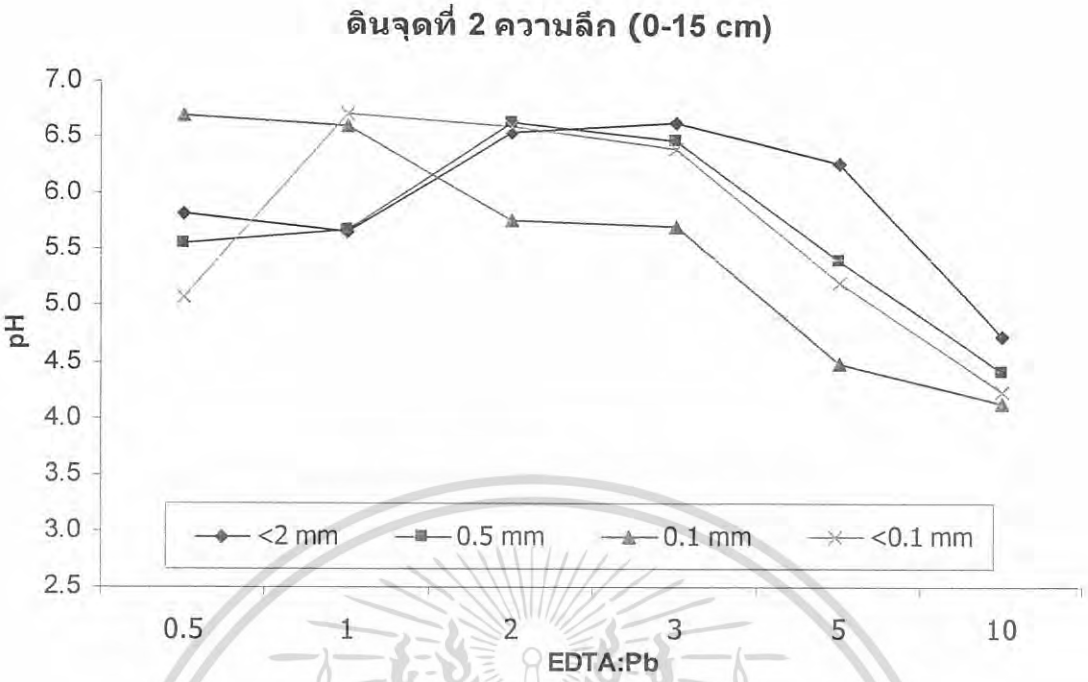


รูปที่ 5.9 pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

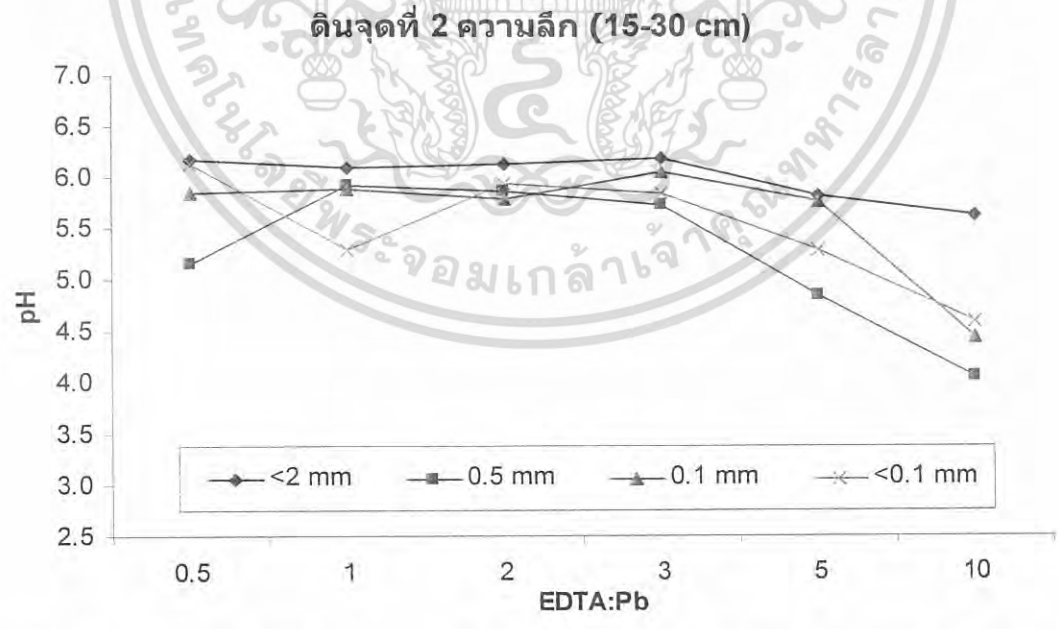


รูปที่ 5.10 pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

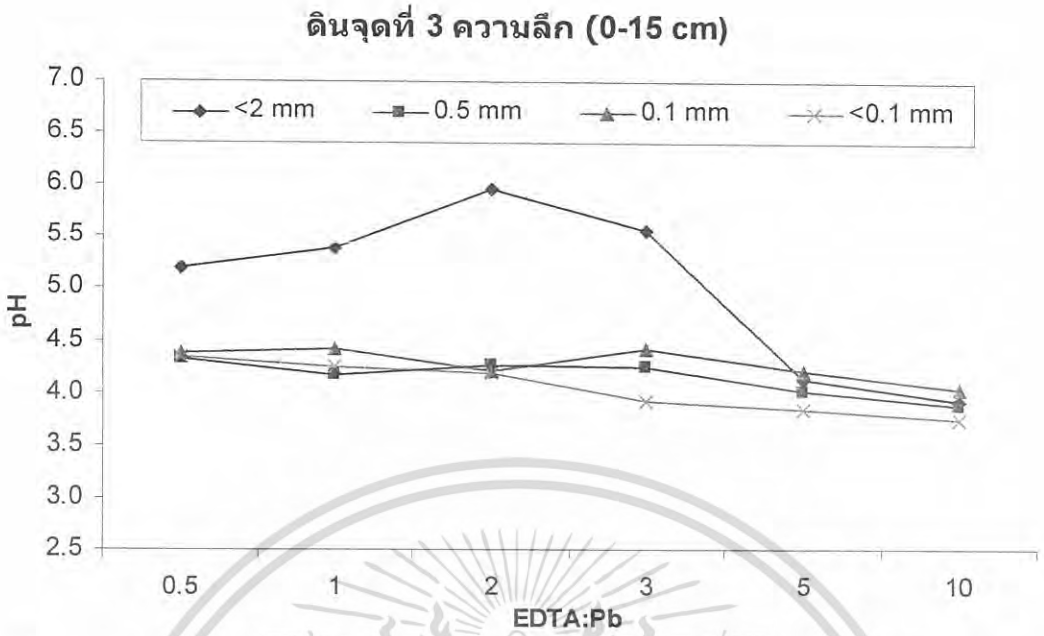


รูปที่ 5.11 pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

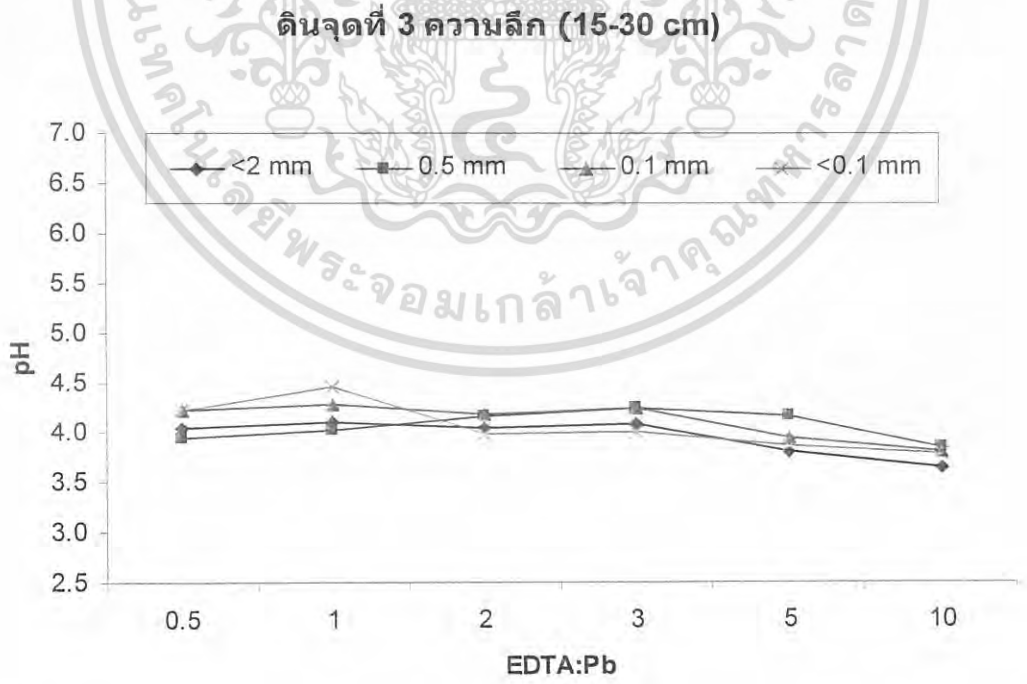


รูปที่ 5.12 pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

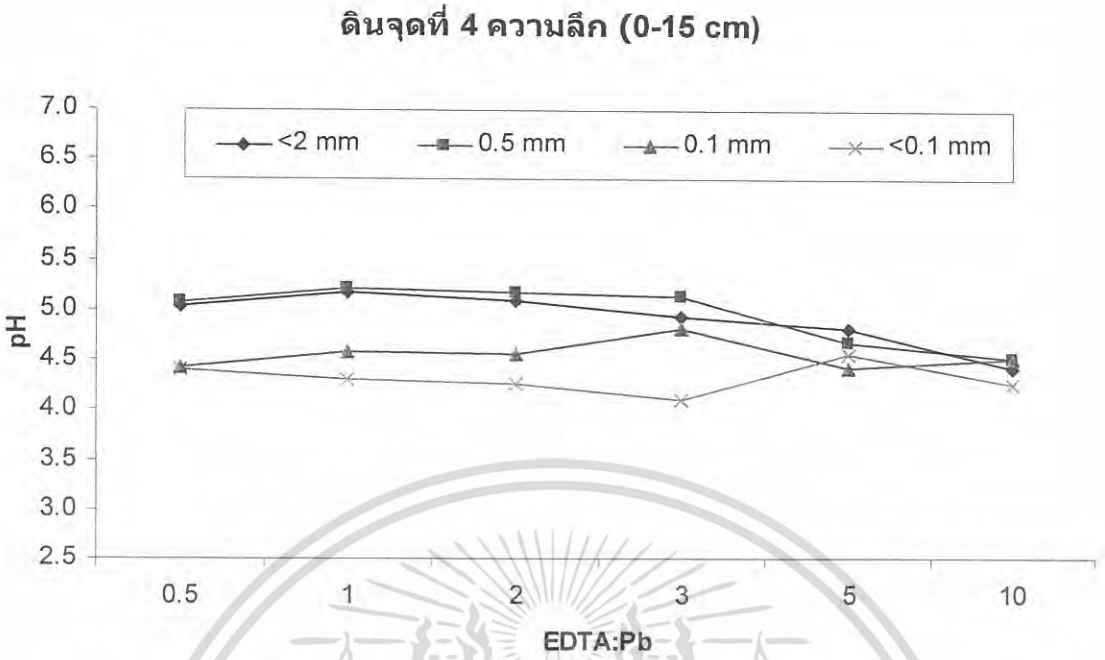


รูปที่ 5.13 pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

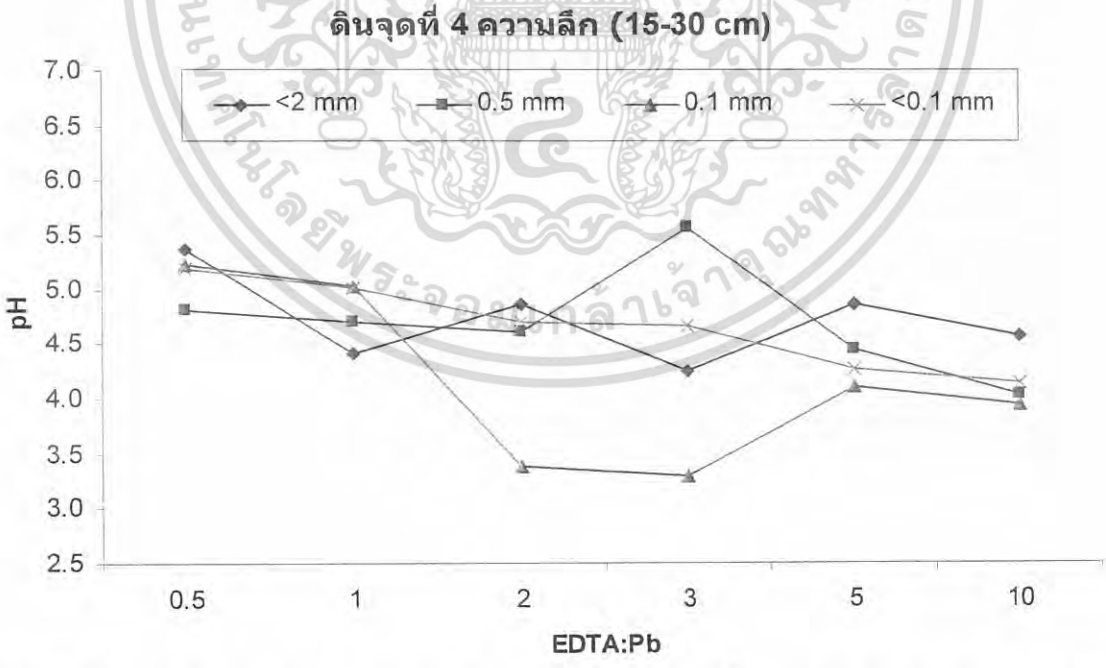


รูปที่ 5.14 pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด



รูปที่ 5.16 pH ของดินหลังการกำจัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ EDTA เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินบริเวณโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่ ชื่อกิมหลีหล่อหลอมโลหะ ที่จังหวัดระยอง พบว่าเป็นดินร่วนปนทรายและดินร่วนเหนียวปนทรายมี clay 11-21 % มีค่า pH เป็นกรดจัดมากถึงปานกลางและค่า EC, OM, CEC, Ca, Mg, K และ Na อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ

จากการทดลองดินที่มีการปนเปื้อนในจุดที่ 1 ในดินบน (0-15 cm) พบว่าที่อนุภาคขนาด <2 mm และ 0.5 mm ควรใช้สัดส่วนความเข้มข้นของน้ำยาสกัดต่อปริมาณตะกั่ว (EDTA:Pb) ที่สัดส่วนความเข้มข้น 3:1 และ 5:1 ตามลำดับ จึงจะมีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วมากที่สุด (87.8%, 77.1%) ส่วนอนุภาคขนาด 0.1 mm (86.4%) และ <0.1 mm (89.0%) ใช้สัดส่วนความเข้มข้นเดียวกันที่ 10:1 ในขณะที่ดินล่าง (15-30 cm) พบว่าทุกขนาดอนุภาคใช้สัดส่วนความเข้มข้นเดียวกันที่ 10:1 จึงจะมีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วมากที่สุด (33.2%-74.4%) ส่วนดินจุดที่ 2 และ 4 ทั้งดินบน (0-15 cm) และดินล่าง (15-30 cm) พบว่าทุกขนาดอนุภาคใช้สัดส่วนความเข้มข้นเดียวกันที่ 10:1 จึงจะมีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วมากที่สุด (12.5%-97.0%) ขณะที่จุดที่ 3 ในดินบน (0-15 cm) ทุกขนาดอนุภาคใช้สัดส่วนความเข้มข้นเดียวกันคือ 10:1 (25.6%-70.4%) และในดินล่าง (15-30 cm) พบว่าที่อนุภาคขนาด <2 mm (25.9%) และ 0.5 mm (48.3%) ใช้สัดส่วนความเข้มข้นเดียวกันคือ 5:1 ส่วนอนุภาคขนาด 0.1 mm และ <0.1 mm ใช้สัดส่วนความเข้มข้นเดียวกันคือ 10:1 จึงจะมีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วมากที่สุด (58.4%, 3.4%)

หลังจากกำจัดตะกั่วโดยใช้ EDTA แล้วพบว่าดินมีฤทธิ์ความเป็นกรดรุนแรงเพิ่มขึ้น โดยมี pH อยู่ในช่วง 2.74-6.69 ส่งผลทำให้ดินเป็นดินกรด ดังนั้นถ้าหากต้องการใช้ดินในบริเวณนี้ เพื่อการเพาะปลูกควรทำการปรับ pH ของดินให้เหมาะสมก่อนโดยการใส่ปูนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ดร. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ ของเสียอันตราย (Hazardous wastes) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต พิมพ์ครั้งที่ ๑ พ.ศ. ๒๕๔๖ หน้า ๒๑๑, ๒๔๓, ๕๐๙-๕๑๒, ๕๕๐, ๕๗๐-๕๗๑

ธีระ เกรอต, นิตยา มหาผล, วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ มลภาวะอากาศ สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ครั้งที่ ๖ พ.ศ. ๒๕๔๓ หน้า ๔๙-๕๗

พัฒนา มูลพฤกษ์ การป้องกันและควบคุมมลพิษ คณะสาธารณะสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พิมพ์ครั้งที่ ๖ พ.ศ. ๒๕๔๕ หน้า ๕-๒๖

เอกสารการสอนชุดวิชา ดิน น้ำ และปุ๋ย, หน่วยที่ ๑-๗ (ฉบับปรับปรุง) ม.สุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. ๒๕๓๘ หน้า ๓๕๗-๓๖๐

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา . ๒๕๓๙. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี, หน้า ๒๓๗-๒๔๖ มหาวิทยาลัยเกษศาสตร์ กรุงเทพฯ

Cline, S.R. and Reed, B.E., 1995. Lead Removal from soil via Bench-Soil Washing Techniques. *J. of Environ. Eng.* Vol. 121 , No. 10:700-705

Davis, A. P. and Hotha, B. V., 1998. Washing of various lead compounds from a contaminated soil column. *J. En. Engineering*, Vol. 124 (11): 1066-1075.

Dennis, D.M., Dworkin, D. and Zupko, A.J., 1995. Soil-Washing Process for Site Remediation. In D.L. Wise and D.J. Trantolo (eds) Remediation of Hazardous Wate Contaminateed Soils. Marcell Dekker, Inc., New York, pp 745777.

Elliott, H. A. and Brown G. A., 1989. Comparative evaluation of NTA and EDTA for extractive decontamination of Pb-polluted soils. *Water Air Soil Pollution*, 45, 361-369.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hessling, J.L., Esposito, M.P., Traver, R.H and Snow, R.P., 1989. *Results of bench-scale research efforts to wash contaminated soils at battery-recycling facilities*. In: J.W. Patterson, R. Passino Eds., Metals Speciation, Separation, and Recovery, Vol. II, Lewis Publishers, Chelsea, MI, pp. 497-514.

Michael, C.A. 1996 Nickel, Cadmium, and Lead. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds) Methods of Soil Analysis Parts 3 Chemical Methods. Soil Society of America, Inc., Wisconsin, pp 730-768.

Nukoon Tawinteung., 2004. Physico-chemical technique , soil washing and soil flushing for remediation of lead contaminated soils,Thesis, p (29-35), (45-59)

Peters, R.W. and Shem L., 1992a. *Use of chelating agents for remediation of heavy metal contaminated soil,* ACS Symp. series 509 on Environmental Remediation: removing Organic and Metal Ion Pollutants, 509, American Chemical Society, Washingtion, DC, pp. 70-84.

Peters, R.W. and Shem L., 1992b. Adsorption/desorption Characteristics of lead on various types of soil, *Environ. Prog.* 11 (3): 234-240

Pichtel, J. and Pichtel, T.M., 1997. Comparison of solvents for ex-situ removal of chromium and lead from contaminated soil. *Environ. Eng.Sci.* 14 (2):97-104.

Steele, M.C. and Pichtel J., 1998. Ex-situ remediation of a metal-contaminated superfund soil using selective extractants, *J.Environ.Eng.*, 124(7):639-645.

Tuin, B.J.W. and M. Tels. Removing Heavy Metal from Contaminated Caly Soil by Extraction with Hydrochloric Acid, EDTA or Hypochlorite Solutions/Environ. Technol., pp. 1039-1052, 1990b.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Walklay, A. and Black, J.A., 1934. An examination of the degtijaieff method for determining soil organic matter and proposed modification of chromic acids titration method. SoilSci., 37 :29-38.

Wasay, S.A., Barrington, S.F. and Tokunaga S., 2001 Organic acids for the in situ Remediation of soil polluted by heavy metals: soil flushing columns. Water, Air, and Soil Pollution, 127: 301-314.

http://advisor.anamai.moph.go.th/261/26101.html

http://en.wikipedia.org/wiki/Lead

http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK22/chapter6/t22-6-l1.htm

http://www.osha.gov/SLTC/etools/leadsmelter/rawmaterials/batterybreaking.html

http://www.ra.mahidol.ac.th/poisoncenter/pois-cov/Lead.html

http://th.wikipedia.org/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาดอนุภาค (mm)	ซ้ำที่	me Ca^{2+}	me Mg^{2+}	me Na^{+}	me K^{+}
				---- meq/100 g soil ----			
1	0-15	<2	1.1	0.88	1.16	0.45	0.37
			1.2	0.83	0.52	0.81	0.42
		0.5	2.1	0.42	0.29	0.35	0.19
			2.2	0.45	0.30	0.51	0.22
		0.1	3.1	0.84	0.61	0.70	0.42
			3.2	1.09	0.78	0.76	0.41
		< 0.1	4.1	1.47	0.86	0.71	0.61
			4.2	1.71	0.96	1.37	0.70
1	15-30	<2	5.1	1.57	2.05	0.65	0.26
			5.2	1.40	1.19	0.93	0.24
		0.5	6.1	1.00	0.93	0.24	0.12
			6.2	0.84	0.76	0.15	0.10
		0.1	7.1	2.90	1.35	0.54	0.22
			7.2	1.73	0.89	0.74	0.26
		< 0.1	8.1	2.75	2.26	0.57	0.33
			8.2	2.76	2.81	1.26	0.43
2	0-15	<2.00	9.1	1.68	0.77	0.15	0.16
			9.2	3.34	1.52	0.37	0.32
		0.5	10.1	0.74	0.27	0.21	0.09
			10.2	0.73	0.23	0.18	0.08
		0.1	11.1	1.65	0.49	0.36	0.17
			11.2	1.60	0.48	0.58	0.18
		< 0.1	12.1	3.73	0.92	0.88	0.38
			12.2	3.79	1.85	0.66	0.33
2	15-30	<2	13.1	1.54	1.48	0.83	0.28
			13.2	1.65	1.33	0.62	0.24
		0.5	14.1	0.41	0.14	0.18	0.07
			14.2	0.41	0.14	0.12	0.07
		0.1	15.1	1.01	0.36	0.67	0.16
			15.2	0.99	0.35	0.73	0.21
		< 0.1	16.1	2.23	0.69	1.34	0.36
			16.2	1.96	0.63	0.77	0.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาดอนุภาค (mm)	ซ้ำที่	me Ca^{2+}	me Mg^{2+}	me Na^{+}	me K^{+}
				---- meq/100 g soil ----			
3	0-15	<2.0	17.1	0.34	0.15	1.51	0.19
			17.2	0.20	0.16	1.02	0.19
		0.5	18.1	0.13	0.09	0.23	0.11
			18.2	0.36	0.13	0.24	0.11
		0.1	19.1	0.25	0.20	0.73	0.24
			19.2	0.16	0.15	0.77	0.18
		<0.1	20.1	0.47	0.29	1.03	0.33
			20.2	0.46	0.29	0.71	0.33
3	15-30	<2.0	21.1	0.17	0.10	0.82	0.12
			21.2	0.08	0.09	0.83	0.11
		0.5	22.1	0.05	0.05	0.39	0.07
			22.2	0.05	0.05	0.23	0.06
		0.1	23.1	0.07	0.09	0.67	0.13
			23.2	0.06	0.10	0.78	0.13
		<0.1	24.1	0.20	0.16	0.75	0.19
			24.2	0.19	0.15	1.46	0.19
4	0-15	<2.0	25.1	0.38	0.14	0.72	0.10
			25.2	0.41	0.14	2.01	0.10
		0.5	26.1	0.24	0.08	1.05	0.05
			26.2	0.19	0.07	0.28	0.05
		0.1	27.1	0.22	0.13	0.61	0.09
			27.2	0.29	0.13	1.16	0.11
		<0.1	28.1	1.12	0.34	0.50	0.26
			28.2	0.94	0.29	1.61	0.16
4	15-30	<2.0	29.1	0.57	0.16	0.63	0.06
			29.2	0.57	0.15	0.45	0.07
		0.5	30.1	0.31	0.08	0.18	0.05
			30.2	0.32	0.09	0.23	0.03
		0.1	31.1	0.56	0.17	0.47	0.09
			31.2	0.64	0.19	1.14	0.08
		<0.1	32.1	1.37	0.33	0.96	0.20
			32.2	1.51	0.37	1.25	0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
1	0-15	<2	0.5	180	0.00087	0.00043	0.0364	153.50	154.66	85.28	85.92	85.60	2.74
			1	180	0.00087	0.00087	0.0727	154.00	155.23	85.56	86.24	85.90	3.64
			2	180	0.00087	0.00174	0.1454	155.00	156.83	86.11	87.13	86.62	3.06
			3	180	0.00087	0.00261	0.2182	157.50	158.67	87.50	88.15	87.83	3.99
			5	180	0.00087	0.00434	0.3636	154.50	155.18	85.83	86.21	86.02	4.00
			10	180	0.00087	0.00869	0.7272	151.50	153.41	84.17	85.23	84.70	3.69
1	0-15	0.5	0.5	128	0.00062	0.00031	0.0263	67.50	68.07	52.73	53.18	52.96	4.05
			1	128	0.00062	0.00062	0.0526	81.50	82.33	63.67	64.32	64.00	4.10
			2	128	0.00062	0.00124	0.1051	85.00	86.07	66.41	67.24	66.82	4.08
			3	128	0.00062	0.00185	0.1577	90.00	91.43	70.31	71.43	70.87	4.18
			5	128	0.00062	0.00309	0.2628	98.50	99.01	76.95	77.35	77.15	4.22
			10	128	0.00062	0.00618	0.5255	94.50	95.39	73.83	74.52	74.17	4.32
1	0-15	0.1	0.5	290	0.00140	0.00070	0.0456	185.00	189.25	63.79	65.26	64.53	4.05
			1	290	0.00140	0.00140	0.0912	195.30	200.80	67.34	69.24	68.29	4.15
			2	290	0.00140	0.00280	0.1824	211.00	219.73	72.76	75.77	74.26	4.14

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
1	0-15	0.1	3	290	0.00140	0.00420	0.2735	231.00	235.31	79.66	81.14	80.40	4.20
			5	290	0.00140	0.00700	0.4559	232.50	241.80	80.17	83.38	81.78	4.25
			10	290	0.00140	0.01400	0.9118	248.00	253.90	85.52	87.55	86.53	4.36
1	0-15	<1	0.5	330	0.00159	0.00080	0.0589	263.00	264.69	79.70	80.21	79.95	3.95
			1	330	0.00159	0.00159	0.1179	275.00	278.59	83.33	84.42	83.88	3.99
			2	330	0.00159	0.00319	0.2357	286.00	283.57	86.67	85.93	86.30	4.06
			3	330	0.00159	0.00478	0.3536	286.50	288.16	86.82	87.32	87.07	4.04
			5	330	0.00159	0.00796	0.5893	287.00	290.33	86.97	87.98	87.47	4.24
			10	330	0.00159	0.01593	1.1786	292.00	295.45	88.48	89.53	89.01	4.34
1	15-30	<2	0.5	8.75	0.00004	0.00002	0.0066	2.00	2.12	22.86	24.23	23.54	4.31
			1	8.75	0.00004	0.00004	0.0132	2.50	2.61	28.57	29.84	29.21	4.26
			2	8.75	0.00004	0.00008	0.0264	3.00	3.16	34.29	36.12	35.20	4.31
			3	8.75	0.00004	0.00013	0.0396	3.50	3.70	40.00	42.32	41.16	4.13
			5	8.75	0.00004	0.00021	0.0660	4.00	4.15	45.71	47.45	46.58	4.23
			10	8.75	0.00004	0.00042	0.1321	4.50	4.70	51.43	53.69	52.56	4.18

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิ์ภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
1	15-30	0.5	0.5	7.5	0.00004	0.00002	0.0046	4.40	4.49	58.67	59.84	59.25	4.34
			1	7.5	0.00004	0.00004	0.0093	4.90	5.02	65.33	66.92	66.13	4.55
			2	7.5	0.00004	0.00007	0.0185	5.20	5.26	69.33	70.12	69.73	4.35
			3	7.5	0.00004	0.00011	0.0278	5.30	5.38	70.67	71.69	71.18	4.33
			5	7.5	0.00004	0.00018	0.0463	5.40	5.53	72.34	73.75	73.05	4.37
			10	7.5	0.00004	0.00038	0.0925	5.50	5.66	73.33	75.43	74.38	4.26
1	15-30	0.1	0.5	10	0.00005	0.00002	0.0084	2.00	2.20	20.00	22.00	21.00	4.60
			1	10	0.00005	0.00005	0.0168	2.40	2.60	24.00	26.00	25.00	4.48
			2	10	0.00005	0.00010	0.0335	2.70	2.84	27.00	28.40	27.70	4.18
			3	10	0.00005	0.00014	0.0503	3.00	3.20	30.00	32.00	31.00	4.32
			5	10	0.00005	0.00024	0.0838	3.30	3.45	33.00	34.50	33.75	4.19
			10	10	0.00005	0.00048	0.1675	3.50	3.73	35.00	37.30	36.15	4.21
1	15-30	<0.1	0.5	20	0.00010	0.00005	0.0114	3.00	3.20	15.00	16.00	15.50	4.39
			1	20	0.00010	0.00010	0.0227	3.00	3.30	15.00	16.50	15.75	4.18
			2	20	0.00010	0.00019	0.0455	3.50	3.92	17.50	19.60	18.55	4.30

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
1	15-30	<0.1	3	20	0.00010	0.00029	0.0682	4.00	4.50	20.00	22.50	21.25	4.10
			5	20	0.00010	0.00048	0.1136	5.00	5.50	25.00	27.50	26.25	4.08
			10	20	0.00010	0.00097	0.2273	6.50	6.80	32.50	34.00	33.25	4.13
2	0-15	<2	0.5	163.75	0.00079	0.00040	0.0037	108.50	110.09	66.26	67.23	66.74	5.82
			1	163.75	0.00079	0.00079	0.0074	90.00	91.90	54.96	56.12	55.54	5.67
			2	163.75	0.00079	0.00158	0.0147	94.25	97.30	57.56	59.42	58.49	6.56
			3	163.75	0.00079	0.00237	0.0221	105.25	109.43	64.27	66.83	65.55	6.64
			5	163.75	0.00079	0.00395	0.0368	134.50	138.78	82.14	84.75	83.44	6.29
			10	163.75	0.00079	0.00790	0.0735	146.50	148.72	89.47	90.82	90.14	4.75
2	0-15	0.5	0.5	85.5	0.00041	0.00021	0.0019	16.75	18.23	19.59	21.32	20.46	5.56
			1	85.5	0.00041	0.00041	0.0038	33.50	35.26	39.18	41.24	40.21	5.68
			2	85.5	0.00041	0.00083	0.0077	41.25	43.31	48.25	50.65	49.45	6.64
			3	85.5	0.00041	0.00124	0.0115	65.00	66.19	76.02	77.42	76.72	6.48
			5	85.5	0.00041	0.00206	0.0192	72.00	73.18	84.21	85.59	84.90	5.42
			10	85.5	0.00041	0.00413	0.0384	74.00	75.86	86.55	88.73	87.64	4.42

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
2	0-15	0.1	0.5	176.75	0.00085	0.00043	0.0040	70.00	72.20	39.60	40.85	40.23	6.69
			1	176.75	0.00085	0.00085	0.0079	114.00	116.88	64.50	66.13	65.31	6.61
			2	176.75	0.00085	0.00171	0.0159	150.50	153.35	85.15	86.76	85.95	5.77
			3	176.75	0.00085	0.00256	0.0238	142.50	145.70	80.62	82.43	81.53	5.72
			5	176.75	0.00085	0.00427	0.0397	153.50	156.67	86.85	88.64	87.74	4.49
			10	176.75	0.00085	0.00853	0.0794	171.00	171.91	96.75	97.26	97.00	4.14
2	0-15	<0.1	0.5	331.5	0.00160	0.00080	0.0074	143.50	147.95	43.29	44.63	43.96	5.08
			1	331.5	0.00160	0.00160	0.0149	156.00	162.93	47.06	49.15	48.10	6.72
			2	331.5	0.00160	0.00320	0.0298	227.00	223.17	68.48	67.32	67.90	6.61
			3	331.5	0.00160	0.00480	0.0447	245.00	249.52	73.91	75.27	74.59	6.41
			5	331.5	0.00160	0.00800	0.0744	258.50	263.48	77.98	79.48	78.73	5.22
			10	331.5	0.00160	0.01600	0.1489	262.50	271.13	79.19	81.79	80.49	4.25
2	15-30	<2	0.5	33.5	0.00016	0.00008	0.0008	3.00	3.49	8.96	10.43	9.69	6.17
			1	33.5	0.00016	0.00016	0.0015	4.25	5.55	12.69	16.56	14.62	6.10
			2	33.5	0.00016	0.00032	0.0030	7.00	7.13	20.90	21.27	21.08	6.14

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
2	15-30	<2	3	33.5	0.00016	0.00049	0.0045	6.75	7.49	20.15	22.35	21.25	6.19
			5	33.5	0.00016	0.00081	0.0075	10.50	11.31	31.34	33.76	32.55	5.82
			10	33.5	0.00016	0.00162	0.0150	19.00	19.64	56.72	58.64	57.68	5.63
2	15-30	0.5	0.5	22.5	0.00011	0.00005	0.0005	3.00	3.21	13.33	14.25	13.79	5.15
			1	22.5	0.00011	0.00011	0.0010	3.50	3.65	15.56	16.21	15.88	5.92
			2	22.5	0.00011	0.00022	0.0020	3.75	4.23	16.67	18.78	17.72	5.86
			3	22.5	0.00011	0.00033	0.0030	5.00	5.48	22.22	24.35	23.29	5.74
			5	22.5	0.00011	0.00054	0.0051	6.00	6.22	26.67	27.64	27.15	4.84
			10	22.5	0.00011	0.00109	0.0101	6.75	7.31	30.00	32.47	31.24	4.05
2	15-30	0.1	0.5	22.5	0.00011	0.00005	0.0005	3.00	3.25	13.33	14.43	13.88	5.85
			1	22.5	0.00011	0.00011	0.0010	3.50	4.02	15.56	17.86	16.71	5.88
			2	22.5	0.00011	0.00022	0.0020	6.00	5.71	26.67	25.37	26.02	5.79
			3	22.5	0.00011	0.00033	0.0030	6.00	6.43	26.67	28.59	27.63	6.05
			5	22.5	0.00011	0.00054	0.0051	8.00	8.38	35.56	37.23	36.39	5.77
			10	22.5	0.00011	0.00109	0.0101	12.00	12.53	53.33	55.67	54.50	4.45

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
2	15-30	<0.1	0.5	84	0.00041	0.00020	0.0019	11.50	12.14	13.69	14.45	14.07	6.14
			1	84	0.00041	0.00041	0.0038	10.00	11.10	11.90	13.21	12.56	5.29
			2	84	0.00041	0.00081	0.0075	24.50	25.09	29.17	29.87	29.52	5.95
			3	84	0.00041	0.00122	0.0113	25.00	24.05	29.76	28.63	29.20	5.85
			5	84	0.00041	0.00203	0.0189	25.50	26.45	30.36	31.49	30.92	5.28
			10	84	0.00041	0.00405	0.0377	27.50	29.11	32.74	34.65	33.69	4.59
3	0-15	<2	0.5	37.5	0.00018	0.00009	0.0008	0.00	0.27	0.00	0.73	0.37	5.20
			1	37.5	0.00018	0.00018	0.0017	1.00	1.26	2.67	3.37	3.02	5.40
			2	37.5	0.00018	0.00036	0.0034	0.50	0.92	1.33	2.45	1.89	5.97
			3	37.5	0.00018	0.00054	0.0051	6.00	6.86	16.00	18.29	17.15	5.57
			5	37.5	0.00018	0.00090	0.0084	10.00	10.85	26.67	28.92	27.79	4.12
			10	37.5	0.00018	0.00181	0.0168	26.00	26.83	69.33	71.54	70.44	3.91
3	0-15	0.5	0.5	20.5	0.00010	0.00005	0.0005	3.00	2.77	14.63	13.52	14.08	4.31
			1	20.5	0.00010	0.00010	0.0009	3.20	3.42	15.61	16.67	16.14	4.17
			2	20.5	0.00010	0.00020	0.0018	3.40	3.57	16.59	17.43	17.01	4.26

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
3	0-15	0.5	3	20.5	0.00010	0.00030	0.0028	3.50	3.77	17.07	18.39	17.73	4.24
			5	20.5	0.00010	0.00049	0.0046	3.00	3.22	14.63	15.72	15.18	4.01
			10	20.5	0.00010	0.00099	0.0092	5.00	5.50	24.39	26.83	25.61	3.88
3	0-15	0.1	0.5	11.5	0.00006	0.00003	0.0003	4.00	4.19	34.78	36.42	35.60	4.38
			1	11.5	0.00006	0.00006	0.0005	4.50	4.67	39.13	40.64	39.89	4.41
			2	11.5	0.00006	0.00011	0.0010	5.00	5.35	43.48	46.53	45.00	4.20
			3	11.5	0.00006	0.00017	0.0015	6.00	5.73	52.17	49.82	51.00	4.42
			5	11.5	0.00006	0.00028	0.0026	6.00	6.12	52.17	53.24	52.71	4.20
			10	11.5	0.00006	0.00056	0.0052	6.50	6.73	56.52	58.56	57.54	4.03
3	0-15	<0.1	0.5	71	0.00034	0.00017	0.0016	13.00	12.41	18.31	17.48	17.89	4.34
			1	71	0.00034	0.00034	0.0032	14.00	14.68	19.72	20.67	20.19	4.25
			2	71	0.00034	0.00069	0.0064	14.00	15.58	19.72	21.95	20.83	4.19
			3	71	0.00034	0.00103	0.0096	15.00	16.57	21.13	23.34	22.23	3.92
			5	71	0.00034	0.00171	0.0159	17.50	18.65	24.65	26.27	25.46	3.85
			10	71	0.00034	0.00343	0.0319	20.00	21.89	28.17	30.83	29.50	3.75

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
3	15-30	<2	0.5	24.5	0.00012	0.00006	0.0006	2.00	2.39	8.16	9.77	8.97	4.03
			1	24.5	0.00012	0.00012	0.0011	4.50	4.71	18.37	19.24	18.80	4.10
			2	24.5	0.00012	0.00024	0.0022	4.50	5.04	18.37	20.56	19.46	4.05
			3	24.5	0.00012	0.00035	0.0033	4.50	5.80	18.37	23.69	21.03	4.07
			5	24.5	0.00012	0.00059	0.0055	6.75	6.84	27.55	27.92	27.74	3.81
			10	24.5	0.00012	0.00118	0.0110	6.25	6.45	25.51	26.34	25.93	3.65
3	15-30	0.5	0.5	13.75	0.00007	0.00003	0.0003	2.75	3.13	20.00	22.73	21.37	3.93
			1	13.75	0.00007	0.00007	0.0006	3.50	3.81	25.45	27.69	26.57	4.02
			2	13.75	0.00007	0.00013	0.0012	4.00	4.46	29.09	32.46	30.78	4.17
			3	13.75	0.00007	0.00020	0.0019	5.25	5.55	38.18	40.35	39.27	4.24
			5	13.75	0.00007	0.00033	0.0031	7.50	7.72	54.55	56.17	55.36	4.17
			10	13.75	0.00007	0.00066	0.0062	6.50	6.77	47.27	49.25	48.26	3.85
3	15-30	0.1	0.5	24.5	0.00012	0.00006	0.0006	7.00	6.70	28.57	27.34	27.96	4.22
			1	24.5	0.00012	0.00012	0.0011	7.30	7.46	29.80	30.45	30.12	4.28
			2	24.5	0.00012	0.00024	0.0022	8.50	8.96	34.69	36.58	35.64	4.18

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
3	15-30	0.1	3	24.5	0.00012	0.00035	0.0033	7.50	7.75	30.61	31.63	31.12	4.24
			5	24.5	0.00012	0.00059	0.0055	11.50	11.81	46.94	48.19	47.56	3.94
			10	24.5	0.00012	0.00118	0.0110	14.00	14.62	57.14	59.67	58.41	3.81
3	15-30	<0.1	0.5	62.5	0.00030	0.00015	0.0014	1.20	1.34	1.92	2.14	2.03	4.22
			1	62.5	0.00030	0.00030	0.0028	1.40	1.47	2.24	2.35	2.30	4.45
			2	62.5	0.00030	0.00060	0.0056	1.50	1.73	2.40	2.77	2.59	3.97
			3	62.5	0.00030	0.00090	0.0084	1.50	1.81	2.40	2.89	2.65	4.00
			5	62.5	0.00030	0.00151	0.0140	1.50	1.95	2.40	3.12	2.76	3.86
			10	62.5	0.00030	0.00302	0.0281	2.00	2.23	3.20	3.57	3.39	3.78
4	0-15	<2	0.5	26.375	0.00013	0.00006	0.0006	0.75	0.95	2.84	3.59	3.22	5.04
			1	26.375	0.00013	0.00013	0.0012	1.00	1.20	3.79	4.54	4.17	5.18
			2	26.375	0.00013	0.00025	0.0024	0.00	0.14	0.00	0.53	0.27	5.10
			3	26.375	0.00013	0.00038	0.0036	1.25	1.80	4.74	6.83	5.78	4.93
			5	26.375	0.00013	0.00064	0.0059	2.00	2.50	7.58	9.47	8.53	4.81
			10	26.375	0.00013	0.00127	0.0118	3.00	3.59	11.37	13.63	12.50	4.42

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
4	0-15	0.5	0.5	16.375	0.00008	0.00004	0.0004	2.50	2.71	15.27	16.53	15.90	5.07
			1	16.375	0.00008	0.00008	0.0007	3.00	3.35	18.32	20.45	19.39	5.22
			2	16.375	0.00008	0.00016	0.0015	6.00	6.27	36.64	38.32	37.48	5.17
			3	16.375	0.00008	0.00024	0.0022	3.75	4.04	22.90	24.66	23.78	5.14
			5	16.375	0.00008	0.00040	0.0037	5.50	5.85	33.59	35.75	34.67	4.68
			10	16.375	0.00008	0.00079	0.0074	8.25	8.82	50.38	53.89	52.14	4.53
4	0-15	0.1	0.5	19.85	0.00010	0.00005	0.0004	3.50	3.89	17.63	19.59	18.61	4.42
			1	19.85	0.00010	0.00010	0.0009	4.00	4.53	20.15	22.84	21.50	4.59
			2	19.85	0.00010	0.00019	0.0018	7.50	7.62	37.78	38.37	38.08	4.57
			3	19.85	0.00010	0.00029	0.0027	8.00	8.42	40.30	42.43	41.37	4.81
			5	19.85	0.00010	0.00048	0.0045	9.00	9.35	45.34	47.11	46.23	4.42
			10	19.85	0.00010	0.00096	0.0089	11.00	11.46	55.42	57.73	56.57	4.52
4	0-15	<0.1	0.5	57.675	0.00028	0.00014	0.0013	10.50	11.27	18.21	19.54	18.87	4.40
			1	57.675	0.00028	0.00028	0.0026	12.00	13.07	20.81	22.67	21.74	4.30
			2	57.675	0.00028	0.00056	0.0052	18.50	19.89	32.08	34.48	33.28	4.26

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
4	0-15	<0.1	3	57.675	0.00028	0.00084	0.0078	21.00	22.12	36.41	38.36	37.39	4.11
			5	57.675	0.00028	0.00139	0.0130	24.00	25.23	41.61	43.75	42.68	4.56
			10	57.675	0.00028	0.00278	0.0259	27.00	28.22	46.81	48.93	47.87	4.27
4	15-30	<2	0.5	27.9	0.00013	0.00007	0.0006	5.50	5.81	19.71	20.82	20.27	5.37
			1	27.9	0.00013	0.00013	0.0013	4.75	4.86	17.03	17.43	17.23	4.42
			2	27.9	0.00013	0.00027	0.0025	4.75	5.48	17.03	19.65	18.34	4.86
			3	27.9	0.00013	0.00040	0.0038	9.25	9.01	33.15	32.29	32.72	4.25
			5	27.9	0.00013	0.00067	0.0063	8.25	9.02	29.57	32.32	30.94	4.87
			10	27.9	0.00013	0.00135	0.0125	11.50	12.22	41.22	43.81	42.51	4.57
4	15-30	0.5	0.5	18.55	0.00009	0.00004	0.0004	1.75	2.01	9.43	10.85	10.14	4.81
			1	18.55	0.00009	0.00009	0.0008	2.00	2.26	10.78	12.17	11.48	4.70
			2	18.55	0.00009	0.00018	0.0017	3.00	3.16	16.17	17.04	16.61	4.62
			3	18.55	0.00009	0.00027	0.0025	3.50	3.75	18.87	20.23	19.55	5.57
			5	18.55	0.00009	0.00045	0.0042	4.00	4.16	21.56	22.45	22.01	4.45
			10	18.55	0.00009	0.00090	0.0083	4.30	4.78	23.18	25.77	24.48	4.04

ตารางที่ 1B แสดงค่าสัดส่วนความเข้มข้น Mole ของ EDTA:Pb, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาด (mm)	EDTA:Pb	Conc Pb	Mole Pb	Mole EDTA	g EDTA/25mL	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pb ที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	%Removal เฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
4	15-30	0.1	0.5	25.3	0.00012	0.00006	0.0006	3.00	3.16	11.86	12.49	12.17	5.23
			1	25.3	0.00012	0.00012	0.0011	3.00	3.73	11.86	14.76	13.31	5.03
			2	25.3	0.00012	0.00024	0.0023	5.00	5.79	19.76	22.87	21.32	3.39
			3	25.3	0.00012	0.00037	0.0034	8.00	8.49	31.62	33.54	32.58	3.30
			5	25.3	0.00012	0.00061	0.0057	10.00	10.78	39.53	42.62	41.07	4.11
			10	25.3	0.00012	0.00122	0.0114	15.00	15.79	59.29	62.43	60.86	3.95
4	15-30	<0.1	0.5	60.075	0.00029	0.00014	0.0013	6.00	6.97	9.99	11.61	10.80	5.20
			1	60.075	0.00029	0.00029	0.0027	11.00	12.27	18.31	20.43	19.37	5.01
			2	60.075	0.00029	0.00058	0.0054	15.50	16.57	25.80	27.59	26.70	4.71
			3	60.075	0.00029	0.00087	0.0081	26.50	26.26	44.11	43.72	43.92	4.67
			5	60.075	0.00029	0.00145	0.0135	28.00	28.98	46.61	48.24	47.42	4.28
			10	60.075	0.00029	0.00290	0.0270	36.50	37.46	60.76	62.35	61.55	4.14

ภาคผนวก C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 cm)

ตารางที่ 1.1C อนุภาคขนาด <2.0 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.01	5	2.20	7.30	0.02
Within Groups	1.81	6	0.30		
Total	12.82	11			

REMOVAL				
Duncan				
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1:10	2	84.70		
1:0.5	2	85.60	85.60	
1:1	2	85.90	85.90	
1:5	2	86.02	86.02	
1:2	2		86.62	86.62
1:3	2			87.83
Sig.		0.063	0.127	0.071
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.			

ตารางที่ 1.2C อนุภาคขนาด 0.5 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	746.35	5	149.27	559.00	6.43E-08
Within Groups	1.60	6	0.27		
Total	747.95	11			

REMOVAL							
Duncan							
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
1:0.5	2	52.96					
1:1	2		64.00				
1:2	2			66.83			
1:3	2				70.87		
1:10	2					74.18	
1:5	2						77.15
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	713.02	5	142.60	54.53	6.39E-05
Within Groups	15.69	6	2.61		
Total	728.71	11			

REMOVAL					
Duncan					
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1:0.5	2	64.53			
1:1	2	68.30			
1:2	2		74.31		
1:3	2			80.40	
1:5	2			81.78	
1:10	2				86.49
Sig.		0.059	1	0.426	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

ตารางที่ 1.4C อนุภาคขนาด <0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	105.17	5	21.03	57.65	5.44E-05
Within Groups	2.19	6	0.36		
Total	107.36	11			

REMOVAL					
Duncan					
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1:0.5	2	79.96			
1:1	2		83.88		
1:2	2			86.30	
1:3	2			87.07	
1:5	2			87.48	
1:10	2				89.01
Sig.		1	1	0.109	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 cm)

ตารางที่ 2.1C อนุภาคขนาด <2.0 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1179.45	5	235.89	138.81	4.09E-06
Within Groups	10.20	6	1.70		
Total	1189.64	11			

REMOVAL							
Duncan							
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
1:0.5	2	23.55					
1:1	2		29.21				
1:2	2			35.20			
1:3	2				41.16		
1:5	2					46.58	
1:10	2						52.56
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

ตารางที่ 2.2C อนุภาคขนาด 0.5 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	307.56	5	61.51	61.61	4.48E-05
Within Groups	5.99	6	1.00		
Total	313.55	11			

REMOVAL						
Duncan						
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
1:0.5	2	59.26				
1:1	2		66.13			
1:2	2			69.73		
1:3	2			71.18	71.18	
1:5	2				73.05	73.05
1:10	2					74.38
Sig.		1	1	0.197	0.110	0.230
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	318.63	5	63.73	35.57	0.0002
Within Groups	10.75	6	1.79		
Total	329.38	11			

REMOVAL					
Duncan					
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1:0.5	2	21.00			
1:1	2		25.00		
1:2	2		27.70		
1:3	2			31.00	
1:5	2			33.75	33.75
1:10	2				36.15
Sig.		1	0.090	0.086	0.123
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

ตารางที่ 2.4C อนุภาคขนาด <0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	476.10	5	95.22	50.99	7.77E-05
Within Groups	11.21	6	1.87		
Total	487.31	11			

REMOVAL					
Duncan					
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1:0.5	2	15.50			
1:1	2	15.75			
1:2	2	18.55	18.55		
1:3	2		21.25		
1:5	2			26.25	
1:10	2				33.25
Sig.		0.075	0.096	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm)

ตารางที่ 3.1C อนุภาคขนาด <2.0 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1917.11	5	383.42	219.79	1.04E-06
Within Groups	10.47	6	1.74		
Total	1927.58	11			

REMOVAL					
Duncan					
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1:1	2	55.54			
1:2	2	58.49			
1:3	2		65.55		
1:0.5	2		66.75		
1:5	2			83.45	
1:10	2				90.15
Sig.		0.067	0.400	1	1
	Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

ตารางที่ 3.2C อนุภาคขนาด 0.5 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7460.45	5	1492.09	828.43	1.98E-08
Within Groups	10.81	6	1.80		
Total	7471.26	11			

REMOVAL						
Duncan						
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
1:0.5	2	20.46				
1:1	2		40.21			
1:2	2			49.45		
1:3	2				76.72	
1:5	2					84.90
1:10	2					87.64
Sig.		1	1	1	1	0.087
	Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4204.56	5	840.91	744.62	2.73E-08
Within Groups	6.78	6	1.13		
Total	4211.34	11			

REMOVAL						
Duncan						
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
1:0.5	2	40.23				
1:1	2		65.32			
1:3	2			81.53		
1:2	2				85.96	
1:5	2				87.75	
1:10	2					97.01
Sig.		1	1	1	0.143	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

ตารางที่ 3.4C อนุภาคขนาด <0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2509.16	5	501.83	327.84	3.17E-07
Within Groups	9.18	6	1.53		
Total	2518.34	11			

REMOVAL						
Duncan						
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
1:0.5	2	43.96				
1:1	2		48.11			
1:2	2			67.90		
1:3	2				74.59	
1:5	2					78.73
1:10	2					80.49
Sig.		1	1	1	1	0.205
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 cm)

ตารางที่ 4.1C อนุภาคขนาด <2.0 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2976.72	5	595.34	225.67	9.65E-07
Within Groups	15.83	6	2.64		
Total	2992.54	11			

REMOVAL						
Duncan						
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
1:0.5	2	9.70				
1:1	2		14.63			
1:2	2			21.09		
1:3	2			21.25		
1:5	2				32.55	
1:10	2					57.68
Sig.		1	1	0.922	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

ตารางที่ 4.2C อนุภาคขนาด 0.5 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	470.31	5	94.06	65.25	3.79E-05
Within Groups	8.65	6	1.44		
Total	478.96	11			

REMOVAL						
Duncan						
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
1:0.5	2	13.79				
1:1	2	15.89	15.89			
1:2	2		17.73			
1:3	2			23.29		
1:5	2				27.16	
1:10	2					31.24
Sig.		0.132	0.176	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2190.13	5	438.03	260.54	6.29E-07
Within Groups	10.09	6	1.68		
Total	2200.22	11			

REMOVAL					
Duncan					
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1:0.5	2	13.88			
1:1	2	16.71			
1:2	2		26.02		
1:3	2		27.63		
1:5	2			36.39	
1:10	2				54.50
Sig.		0.072	0.261	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

ตารางที่ 4.4C อนุภาคขนาด <0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	846.16	5	169.23	226.00	9.61E-07
Within Groups	4.49	6	0.75		
Total	850.65	11			

REMOVAL				
Duncan				
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1:1	2	12.56		
1:0.5	2	14.07		
1:3	2		29.20	
1:2	2		29.52	
1:5	2		30.93	
1:10	2			33.70
Sig.		0.131	0.102	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15 cm)

ตารางที่ 5.1C อนุภาคขนาด <2.0 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7228.72	5	1445.74	993.18	1.15E-08
Within Groups	8.73	6	1.46		
Total	7237.45	11			

REMOVAL					
Duncan					
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1:0.5	2	0.37			
1:2	2	1.89			
1:1	2	3.02			
1:3	2		17.15		
1:5	2			27.80	
1:10	2				70.44
Sig.		0.078	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

ตารางที่ 5.2C อนุภาคขนาด 0.5 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	169.93	5	33.99	34.09	0.000248
Within Groups	5.98	6	1.00		
Total	175.91	11			

REMOVAL				
Duncan				
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1:0.5	2	14.08		
1:5	2	15.18	15.18	
1:1	2	16.14	16.14	
1:2	2		17.01	
1:3	2		17.73	
1:10	2			25.61
Sig.		0.093	0.051	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	688.30	5	137.66	65.81	3.69E-05
Within Groups	12.55	6	2.09		
Total	700.85	11			

REMOVAL						
Duncan						
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
1:0.5	2	35.60				
1:1	2		39.89			
1:2	2			45.01		
1:3	2				51.00	
1:5	2				52.71	
1:10	2					57.54
Sig.		1	1	1	0.282	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

ตารางที่ 5.4C อนุภาคขนาด <0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	174.95	5	34.99	19.23	0.001243
Within Groups	10.92	6	1.82		
Total	185.87	11			

REMOVAL					
Duncan					
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1:0.5	2	17.90			
1:1	2	20.20	20.20		
1:2	2	20.84	20.84		
1:3	2		22.24		
1:5	2			25.56	
1:10	2				29.50
Sig.		0.080	0.194	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 cm)

ตารางที่ 6.1C อนุภาคขนาด <2.0 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	437.73	5	87.55	28.19	0.000427
Within Groups	18.64	6	3.11		
Total	456.37	11			

REMOVAL				
Duncan				
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1:0.5	2	8.97		
1:1	2		18.81	
1:2	2		19.47	
1:3	2		21.03	
1:10	2			25.93
1:5	2			27.74
Sig.		1	0.268	0.344
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.			

ตารางที่ 6.2C อนุภาคขนาด 0.5 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1721.94	5	344.39	117.80	6.65E-06
Within Groups	17.54	6	2.92		
Total	1739.48	11			

REMOVAL							
Duncan							
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
1:0.5	2	21.37					
1:1	2		26.57				
1:2	2			30.78			
1:3	2				39.27		
1:10	2					48.26	
1:5	2						55.36
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1444.94	5	288.99	238.76	8.16E-07
Within Groups	7.26	6	1.21		
Total	1452.20	11			

REMOVAL						
Duncan						
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
1:0.5	2	27.96				
1:1	2	30.12	30.12			
1:3	2		31.12			
1:2	2			35.64		
1:5	2				47.57	
1:10	2					58.41
Sig.		0.097	0.398	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

ตารางที่ 6.4C อนุภาคขนาด <0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.12	5	0.42	4.66	0.043972
Within Groups	0.55	6	0.09		
Total	2.67	11			

REMOVAL			
Duncan			
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1:0.5	2	2.03	
1:1	2	2.30	
1:2	2	2.59	
1:3	2	2.65	2.65
1:5	2	2.76	2.76
1:10	2		3.39
Sig.		0.063	0.056
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.			
a	Uses Harmonic Mean Sample Size =2.000.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15 cm)

ตารางที่ 7.1C อนุภาคขนาด <2.0 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	184.58	5	36.92	30.65	0.000336
Within Groups	7.23	6	1.20		
Total	191.80	11			

REMOVAL					
Duncan					
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1:2	2	0.27			
1:0.5	2		3.22		
1:1	2		4.17		
1:3	2		5.79		
1:5	2			8.53	
1:10	2				12.50
Sig.		1	0.064	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

ตารางที่ 7.2C อนุภาคขนาด 0.5 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1832.05	5	366.41	151.46	3.16E-06
Within Groups	14.52	6	2.42		
Total	1846.56	11			

REMOVAL					
Duncan					
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1:0.5	2	15.90			
1:1	2	19.39			
1:3	2		23.78		
1:5	2			34.67	
1:2	2			37.48	
1:10	2				52.14
Sig.		0.066	1	0.121	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2134.13	5	426.83	209.64	1.2E-06
Within Groups	12.22	6	2.04		
Total	2146.35	11			

REMOVAL					
Duncan					
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1:0.5	2	18.61			
1:1	2	21.50			
1:2	2		38.08		
1:3	2		41.37		
1:5	2			46.23	
1:10	2				56.58
Sig.		0.090	0.061	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

ตารางที่ 7.4C อนุภาคขนาด <0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1315.97	5	263.19	132.34	4.71E-06
Within Groups	11.93	6	1.99		
Total	1327.90	11			

REMOVAL						
Duncan						
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
1:0.5	2	18.88				
1:1	2	21.74				
1:2	2		33.28			
1:3	2			37.39		
1:5	2				42.68	
1:10	2					47.87
Sig.		0.088	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30 cm)

ตารางที่ 8.1C อนุภาคขนาด <2.0 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1009.61	5	201.92	104.14	9.58E-06
Within Groups	11.63	6	1.94		
Total	1021.24	11			

REMOVAL				
Duncan				
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1:1	2	17.23		
1:2	2	18.34		
1:0.5	2	20.27		
1:5	2		30.95	
1:3	2		32.72	
1:10	2			42.52
Sig.		0.080	0.250	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.			

ตารางที่ 8.2C อนุภาคขนาด 0.5 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	328.65	5	65.73	56.12	5.88E-05
Within Groups	7.03	6	1.17		
Total	335.68	11			

REMOVAL					
Duncan					
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1:0.5	2	10.14			
1:1	2	11.48			
1:2	2		16.61		
1:3	2			19.55	
1:5	2			22.01	22.01
1:10	2				24.48
Sig.		0.264	1	0.064	0.063
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.3C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3506.16	5	701.23	202.41	1.33E-06
Within Groups	20.79	6	3.46		
Total	3526.95	11			

REMOVAL						
Duncan						
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
1:0.5	2	12.18				
1:1	2	13.31				
1:2	2		21.32			
1:3	2			32.58		
1:5	2				41.08	
1:10	2					60.86
Sig.		0.564	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

ตารางที่ 8.4C อนุภาคขนาด <0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3675.85	5	735.17	563.35	6.29E-08
Within Groups	7.83	6	1.31		
Total	3683.68	11			

REMOVAL							
Duncan							
EDTAPB	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
1:0.5	2	10.80					
1:1	2		19.37				
1:2	2			26.70			
1:3	2				43.92		
1:5	2					47.43	
1:10	2						61.56
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้