

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณ โรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่า
โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

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



T099652



โดย

นางสาว วรรณ เอ็มโกษา

ปพ.
๖๖๒๑ก
๒๕๔๘

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 99652
วันเดือนปี..... 16 JUN 2009

เสนอ

ภาควิชาปฐพีวิทยา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ปฐพีวิทยา)

พ.ศ.๒๕๔๘

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง
ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาปฐพีวิทยา

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่า
โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด
Lead removal from soils via lab-scale soil washing technique
using HCl as extracting solution

โดย

นางสาว วราภรณ์ เอมโกษา



(ดร.นุกูล ถวิลถึ้ง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ดร.สุมิตรา กุ้วโรดม)

หัวหน้าภาควิชาปฐพีวิทยา

วันที่ 8 เดือน พค พ.ศ. 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีเงื่อนไขการใช้งานอื่น ๆ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง	การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณ โรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่า โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด
ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ	Lead removal from soils via lab-scale soil washing technique using HCl as extracting solution
โดย	นางสาว วราภรณ์ เอ็มโกษา
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ภาควิชา	ปฐพีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. นฤมล ถวิลถิ่ง

บทคัดย่อ

ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มีการใช้ในกิจกรรมต่างๆ อย่างแพร่หลายก่อให้เกิดสารพิษตกค้างสู่สิ่งแวดล้อมทั้งในอากาศ แหล่งน้ำและ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินซึ่งถ้าหากมีการปนเปื้อนแล้วจะทำการกำจัดออกได้ยากมาก ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาหาแนวทางในการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (soil washing) โดยใช้ตัวอย่างดิน 4 จุดคือ จุดที่ 1 คือดินบริเวณโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่ (กิมหลี่หล่อหลอมโลหะ), ดินจุดที่ 2 ดินห่างจากโรงงานประมาณ 100 เมตร, ดินจุดที่ 3 ดินห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร และดินจุดที่ 4 ดินอ้างอิง ห่างจากโรงงานประมาณ 1,000 เมตร ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้กรด HCl เป็นน้ำยาสกัดที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันดังนี้ 0.05 N, 0.1 N, 0.2 N, 0.5 N, 1.0 N และ 2.0 N ตามลำดับ

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินมีค่าสูงสุดในดินจุดที่ 1, จุดที่ 3 และจุดที่ 4 ที่ความเข้มข้น 1.0 N โดยสามารถกำจัดตะกั่วได้ในช่วง 77-98%, 10-88.6% และ 78.6-85% ตามลำดับในดินบน และความเข้มข้น 2.0 N อยู่ในช่วง 44.3-97.1%, 25.6-81% และ 43.1-74.6% ตามลำดับในดินล่าง ส่วนดินจุดที่ 2 ทั้งดินบนและดินล่างที่ความเข้มข้น 2.0 N อยู่ในช่วง 10-88.6%, 33.1-89.1% ตามลำดับ ทั้งนี้ดินภายหลังจากกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้กรด HCl เป็นน้ำยาสกัดพบว่าดินมีความเป็นกรดรุนแรงมากขึ้นกว่าก่อนการกำจัดตะกั่วออกจากดิน โดยดินเป็นดินทรายมีความเป็นกรดรุนแรงมาก ($\text{pH} = 0.02-1.62$) จึงสมควรที่จะทำการปรับปรุงดินก่อนการนำไปใช้ในกิจกรรมอื่นๆ อาทิเช่น กิจกรรมทางการเกษตร โดยใช้ปูนขาวหรือโดโลไมต์เพื่อปรับค่า pH ของดินให้มีความเป็นกรดลดลงและเหมาะสมกับการทำกิจกรรมอื่นๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ในการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. นฤต ถวิลถึง อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่กรุณาชี้แนะ ให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่างๆ ทั้งเทคนิคในห้องปฏิบัติการ วิชาความรู้ ตลอดจนช่วยตรวจทานและแก้ไขปัญหาพิเศษฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ. ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทดลองเป็นอย่างดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ สมเกียรติ สีสนอง ที่เอื้อเฟื้อคอมพิวเตอร์ห้องระบบสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ในการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้ได้เสร็จสมบูรณ์

รวมทั้งขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาคปฐพีวิทยาทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ต่างๆ จนสำเร็จการศึกษาได้ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ คุณนุจรี บุญเปล่ง, คุณนารี พันธุ์จินดาวรรณ และคุณสมจิตร มั่งนาค (น้ำจิตร) ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำวิธีการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณป้า, มะห้ และนิโฮ ที่ได้อบรมสั่งสอนเลี้ยงดูและคอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมาจนสำเร็จการศึกษาในระดับนี้ รวมถึงวัดนี้น้องชายและสาวที่คอยช่วยเหลืองานต่างๆ และงานคอม

สุดท้ายนี้แล้วขอขอบคุณพี่กั้ง, เพื่อนๆ ภาคปฐพีฯ รุ่น 18, เพื่อนภาคอื่นๆ, เพื่อนสนิทของศาลและเกษตรเจ้าคุณทหารรุ่น 31 ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือเป็นอย่างดีเสมอมา

นางสาว วราภรณ์ เอมโกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญรูป	VI
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ตรวจเอกสาร	4-22
อุปกรณ์และวิธีการ	23-30
ผลการทดลอง	31-56
สรุปผลการทดลอง	57
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก A แสดงค่าวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน	63
ภาคผนวก B ค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดิน และค่า pH ของดิน หลังกำจัดตะกั่ว	66-77
ภาคผนวก C ค่า Analysis of Variance (ANOVA)	78-93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1	19
ตารางที่ 3.2	22
ตารางที่ 3.3	22
ตารางที่ 5.1	32
ตารางที่ 5.2	32
ตารางที่ 5.3	33
ตารางที่ 5.4	33
ตารางที่ 5.5	35
ตารางที่ 5.6	39
ตารางที่ 5.7	40
ตารางที่ 5.8	41
ตารางที่ 5.9	42
ตารางที่ 5.10	43
ตารางที่ 5.11	44
ตารางที่ 5.12	45
ตารางที่ 5.13	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 5.14	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	49
ตารางที่ 5.15	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	50
ตารางที่ 5.16	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	51
ตารางที่ 5.17	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	52
ตารางที่ 5.18	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	53
ตารางที่ 5.19	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	54
ตารางที่ 5.20	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	55
ตารางที่ 5.21	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	56
ตารางที่ 1 A	แสดงค่าวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแต่ละจุด (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+)	63
ตารางที่ 1 B	แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด	66-76
ตารางที่ 1 C	ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 cm)	78
ตารางที่ 1.1 C	อนุภาคขนาด <2.0 mm.	78
ตารางที่ 1.2 C	อนุภาคขนาด 0.5 mm.	78
ตารางที่ 1.3 C	อนุภาคขนาด 0.1 mm.	79
ตารางที่ 1.4 C	อนุภาคขนาด <0.1 mm.	79
ตารางที่ 2 C	ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 cm)	80
ตารางที่ 2.1 C	อนุภาคขนาด <2.0 mm.	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.	80
ตารางที่ 2.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.	81
ตารางที่ 2.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.	81
ตารางที่ 3 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm)	82
ตารางที่ 3.1C อนุภาคขนาด <2.0 mm.	82
ตารางที่ 3.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.	82
ตารางที่ 3.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.	83
ตารางที่ 3.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.	83
ตารางที่ 4 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 2 ดินบน (15-30 cm)	84
ตารางที่ 4.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.	84
ตารางที่ 4.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.	84
ตารางที่ 4.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.	85
ตารางที่ 4.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.	85
ตารางที่ 5 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm)	86
ตารางที่ 5.1C อนุภาคขนาด <2.0 mm.	86
ตารางที่ 5.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.	86
ตารางที่ 5.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.	87
ตารางที่ 5.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.	87
ตารางที่ 6 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 cm)	88
ตารางที่ 6.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.	88
ตารางที่ 6.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.	88
ตารางที่ 6.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.	89
ตารางที่ 6.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.	89
ตารางที่ 7 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15 cm)	90
ตารางที่ 7.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.	90
ตารางที่ 7.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.	90
ตารางที่ 7.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.	91
ตารางที่ 7.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 8 C	ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30 cm)	92
ตารางที่ 8.1 C	อนุภาคขนาด <2.0 mm.	92
ตารางที่ 8.2 C	อนุภาคขนาด 0.5 mm.	92
ตารางที่ 8.3 C	อนุภาคขนาด 0.1 mm.	93
ตารางที่ 8.4 C	อนุภาคขนาด <0.1 mm.	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.1 การแสดงการปนเปื้อนตะกั่วจากการประกอบอาชีพ	5
รูปที่ 3.2 แสดงการปนเปื้อนตะกั่วจากอากาศ	5
รูปที่ 3.3 แสดงแหล่งปนเปื้อนตะกั่วจากแหล่งต่างๆ	6
รูปที่ 3.4 แสดงเส้นทางการเข้าสู่ร่างกาย	9
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะแนวเส้นตะกั่วบริเวณเหงือก (Lead line)	10
รูปที่ 3.6 แสดงอาการทางระบบประสาทส่วนปลาย	11
รูปที่ 3.7 แสดงตะกั่วที่สะสมในร่างกาย	11
รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงการล้างดิน	13
รูปที่ 3.9 แสดงรูปแบบหลักของการล้างดินทั่วไป	15
รูปที่ 3.10 แสดงระบบการล้างไล่สารปนเปื้อนแบบฉีดไหลวน	20
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างแสดงภาพตัดขวางของการล้างไล่สารปนเปื้อนในดิน	20
รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงที่ตั้งโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่า และตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน	25
รูปที่ 4.2 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน	29
รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการสกัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (soil washing)	30
รูปที่ 5.1 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	39
รูปที่ 5.2 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	40
รูปที่ 5.3 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	41
รูปที่ 5.4 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	42
รูปที่ 5.5 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	43
รูปที่ 5.6 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5.7 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	45
รูปที่ 5.8 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด	46
รูปที่ 5.9 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 1 (ดินบน)	49
รูปที่ 5.10 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 1 (ดินล่าง)	50
รูปที่ 5.11 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 2 (ดินบน)	51
รูปที่ 5.12 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 2 (ดินล่าง)	52
รูปที่ 5.13 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 3 (ดินบน)	53
รูปที่ 5.14 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 3 (ดินล่าง)	54
รูปที่ 5.15 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 4 (ดินบน)	55
รูปที่ 5.16 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 4 (ดินล่าง)	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าโดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

Lead removal from soils via lab-scale soil washing technique

using HCl as extracting solution

1. คำนำ

ในปัจจุบันนี้มีการนำโลหะหนักมาใช้ในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ตะกั่วนับเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างหลากหลายอาทิ เช่น ในโรงงานแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์, การถลุงแร่, จากไอเสียรถยนต์, อุตสาหกรรมสีทาบ้าน, ลูกกระสุนในสนามยิงปืน และการทำเหมืองตะกั่ว ซึ่งตะกั่วที่ตกค้างก็มีปัญหาอย่างมากคือสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนในอากาศ แหล่งน้ำใต้ดิน รวมทั้งในดินซึ่งการปนเปื้อนตะกั่วในสิ่งแวดล้อมมีโอกาสที่จะเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง อาทิเช่น การสัมผัส การหายใจ และที่สำคัญ คือ การรับประทานอาหาร ทั้งนี้ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะมีผลกระทบต่อมนุษย์โดยจะก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบการทำงานในอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย เช่น ในระบบเลือด ทำให้เม็ดเลือดแดงผิดปกติและแตกง่าย โลหิตจาง มีอาการอ่อนเพลีย ในระบบประสาท ทำให้เนื้อสมองบวม คลื่นไส้ อาเจียน มีอาการปวดศีรษะ ในรายที่เป็นเรื้อรังอาจเกิดภาวะไตวายและไตพิการ ส่วนในระบบสืบพันธุ์ นั้นทำให้อสุจิของเพศชายและไข่ของเพศหญิงผิดปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าพบในเด็กจะเป็นอันตรายมาก แม้ว่าจะพบในปริมาณที่ความเข้มข้นน้อยๆ ก็ตาม

ในกรณีของประเทศไทยพบว่าแหล่งที่มีปัญหาการปนเปื้อนของตะกั่วในดินมาจากโรงงานหลอมแบตเตอรี่ ซึ่งจากการสำรวจของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2542 พบว่าดินในพื้นที่ 1 - 2 km. ที่อยู่รอบๆ โรงงานนั้นมีการปนเปื้อนของตะกั่วสูงถึง 1,500 - 7,000 mg/kg. ซึ่งการปนเปื้อนของตะกั่วในดิน จะทำการกำจัดออกได้ยากมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น การดูดซับ การตกตะกอน และมีการจับกับอินทรีย์วัตถุเป็นสารประกอบที่ซับซ้อน

วิธีที่ใช้ในการกำจัดตะกั่วออกจากดินนั้นมีอยู่หลายวิธี และวิธีที่เป็นที่นิยมคือ การสกัดตะกั่วออกจากดิน เช่น การล้างดิน (soil washing) เป็นการกำจัดโดยทำการขูดดินขึ้นมา และนำมาล้างด้วยน้ำยาสกัด โดยปกติแล้วจะทำการแยกขนาดอนุภาคก่อน เพราะความสามารถในการกำจัดตะกั่วออกจากดินในแต่ละขนาดอนุภาคแตกต่างกันและ การชะล้างดิน (soil flushing) นั้นเป็นการกำจัดโดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายดินออกจากพื้นที่ โดยปกติแล้วน้ำยาสกัดที่นิยมใช้สกัดกับทั้ง 2 วิธีนี้จะมีกรดและสารประกอบคีเลต สาเหตุที่กรดสามารถกำจัดตะกั่วออกจากดินได้เนื่องจาก H^+ สามารถที่จะไปไล่ที่ Pb^{2+} ได้ ตะกั่วก็จะถูกกำจัดออกมาจากดินได้ ส่วนในกรณีของสารประกอบคีเลต สารประกอบคีเลตจะไปร่วมตัวกับตะกั่วและชะละลายออกไป โดยกรดที่ใช้ในการกำจัดเอกรสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สรุปผลการทดลอง (ต่อ)

- ดินจุดที่ 2 ในดินบนประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดที่อนุภาคขนาด < 2.0 mm. (88.6%) และอนุภาคขนาด < 0.1 mm. (10.0%) มีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำสุด ส่วนในดินล่างประสิทธิภาพสูงสุดที่ขนาดอนุภาค 0.1 mm. (89.1%) และต่ำสุดที่ขนาดอนุภาค < 0.1 mm. (33.1%)

- ดินจุดที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุดที่อนุภาคขนาด 0.1 mm. (83.7%) และต่ำสุดที่อนุภาคขนาด < 2.0 mm. (25.6%) ในดินบนและดินล่างที่อนุภาคขนาด 0.1 mm. (55.4%) มีประสิทธิภาพสูงสุดและต่ำสุดที่อนุภาคขนาด < 0.1 mm. (20.7%)

- ดินจุดที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินในกรณีของดินบน อนุภาคขนาด 0.1 mm. (85.0%) มีค่าสูงสุด และต่ำสุดที่อนุภาคขนาด 0.5 mm. (78.6%) ทั้งนี้ในอนุภาคขนาด < 2.0 mm. มีประสิทธิภาพสูงสุด (74.6%) และต่ำสุดที่อนุภาคขนาด 0.1 mm. (43.1%)

(5) pH ของดินภายหลังการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ กรด HCl เป็นน้ำยาสกัด ที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้น- ความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 0.05N - 2.0N นั้นในดินแต่ละจุดจะมี pH อยู่ในช่วงดังนี้ ในดินจุดที่ 1 pH ของดินหลังการกำจัดอยู่ในช่วง 0.15 - 1.62, ในดินจุดที่ 2 นั้นอยู่ในช่วง 0.09 - 1.23 ส่วนในดินจุดที่ 3 ก็มีค่าอยู่ในช่วง 0.03 - 1.38 และ 0.02 - 1.38 กรณีของดินจุดที่ 4

ทั้งนี้ดินภายหลังการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HCl พบว่าจะมีค่าความเป็นกรดรุนแรงมากขึ้นก่อนทำการกำจัด ซึ่งดินภายหลังการกำจัดควรที่จะทำการปรับปรุงดิน โดยใส่ปุ๋ยหรือโดโลไมท์ เพื่อปรับค่า pH ของดินให้สูงขึ้นและเหมาะสมกับการทำการเกษตร หรือกิจกรรมอื่นๆ ตามเหมาะสม

ตะกั่วออกจากดิน ตัวอย่างเช่น HCl , HNO_3 ส่วนสารประกอบคีเลตที่มีการศึกษาและนำมาใช้ในการกำจัดตะกั่วออกจากดิน อาทิเช่น EDTA, DTPA ซึ่งความสามารถในการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยน้ำยาสกัดนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน, ชนิดของดิน, สัดส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมระหว่าง mole ของน้ำยาสกัด: mole ของตะกั่วในดิน, ปริมาณของน้ำยาสกัด, ค่า pH ในดิน, และปริมาณของ silt และ clay ทั้งนี้ปริมาณของตะกั่วในดินแต่ละพื้นที่ แต่ละชั้นความลึกของดินไม่เท่ากัน รวมทั้งความเข้มข้นของน้ำยาสกัดหรือชนิดของน้ำยาสกัดที่แตกต่างก็มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินได้แตกต่างกัน จึงได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินที่ปนเปื้อนตะกั่วจากโรงงานหล่อหลอมแบตเตอรี่เก่าโดยใช้กรด HCl เป็นน้ำยาสกัดในกระบวนการล้างดิน (soil washing) ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเข้มข้นของน้ำยาซัก (HCl) ที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วออกจากดิน โดยวิธีการล้างดิน (soil washing) ในดินบริเวณที่ปนเปื้อนตะกั่วจากโรงงานหล่อหลอมแบตเตอรี่เก่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตรวจสอบเอกสาร

3.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับโลหะตะกั่ว

ตะกั่ว (Lead, Pb) เป็นโลหะหนักชนิดหนึ่ง มีความหนาแน่นสูง มีความมันวาว สีขาวปนน้ำเงิน มีน้ำหนักมาก อ่อนตัวสูง มีจุดหลอมเหลวต่ำ สภาพการนำไฟฟ้าต่ำ มีคุณสมบัติด้านการกัดกร่อนได้ดี ดังนั้นจึงใช้ทำวัสดุบรรจุกรดซัลฟูริก นอกจากนี้ยังใช้ตะกั่วเป็นโลหะผสมในโลหะอื่นได้แก่ พลวง ทองแดง และ เหล็ก เป็นต้น เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการกลึงไส (มันส์ , 2536) โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังนี้

สัญลักษณ์ทางเคมี Pb	ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 20°C) 11.34 g/cm ³
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	

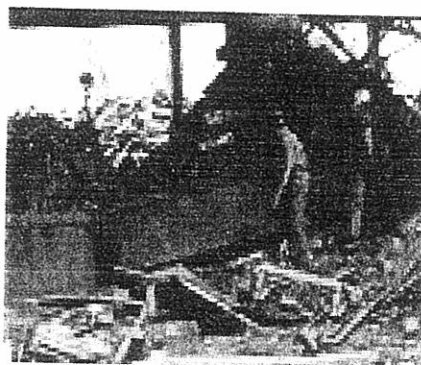
3.2 แหล่งกำเนิดสารพิษตะกั่ว

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

(2) แหล่งกำเนิดที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ที่มาจากหลากหลายแหล่ง อาทิเช่น

2.1) แหล่งจากการประกอบอาชีพ ได้แก่ การทำเหมืองตะกั่ว อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ การนำของเก่าที่มีตะกั่วผสมอยู่มาหลอมใช้ใหม่ การบรรจุห่อหรือขนถ่ายสิ่งของที่มีฝุ่นตะกั่วผสมอยู่ การทำให้ตะกั่วบริสุทธิ์ การผลิตบรอนซ์ตะกั่ว สีตะกั่ว ตะกั่วผง และตะกั่วในรูปอื่นๆ การผลิตแก้วที่มีตะกั่วปนอยู่ การทาหรือพ่นสีกันสนิม การใช้สารประกอบของตะกั่วในรูปที่เป็นผงผลิตแบตเตอรี่ การชุบโลหะ การทำเครื่องปั้นดินเผา การทำและบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช การเรียงพิมพ์ การเติมน้ำมัน การใช้น้ำมันเบนซินทำความสะอาดเครื่องยนต์กลไกต่างๆ ซึ่งแหล่งจากการประกอบอาชีพเป็นแหล่งที่สารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายคนได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงการปนเปื้อนตะกั่วจากการประกอบอาชีพ

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

2.2) แหล่งจากอากาศที่ปนเปื้อนตะกั่ว โดยทั่วไปแล้วการหายใจเอาตะกั่วในอากาศนั้น เป็นทางได้รับตะกั่วที่สำคัญที่พื้กอาศัย และการจราจรจะมีผลอย่างมาก โดยระดับตะกั่วจะสัมพันธ์ กับปริมาณการจราจรเฉลี่ยในแต่ละวันของถนนสายสำคัญใกล้บ้าน นอกจากนั้นสถานบริการน้ำมัน เป็นแหล่งกำเนิดทำให้อากาศปนเปื้อนตะกั่วได้



รูปที่ 3.2 แสดงการปนเปื้อนตะกั่วจากอากาศ

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

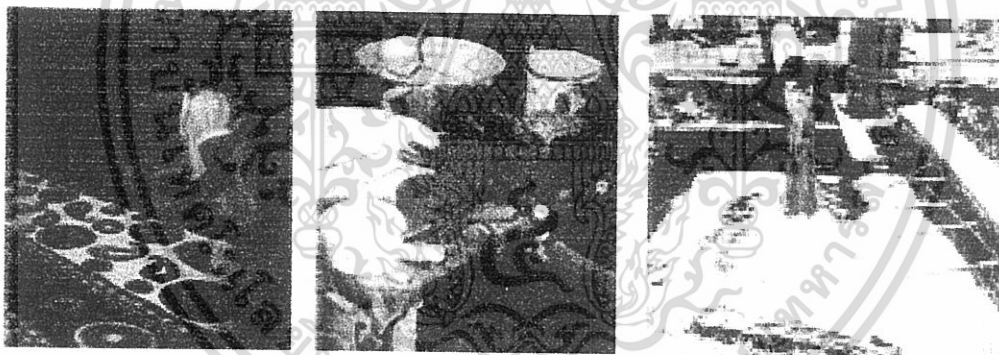
2.3) แหล่งจากดินและฝุ่น ดินและฝุ่นได้รับตะกั่วโดยการสะสมจากตะกั่วในอากาศที่ ได้รับจากรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งอื่นๆ รวมทั้งแผ่นสีเก่าหลุดสะสมในดินโดย ตะกั่วที่สะสมมักจะอยู่บริเวณผิวดิน จะพบมากในเด็กที่มีพฤติกรรมชอบสำรวจซึ่งจะทำให้เด็ก เหล่านี้มีโอกาสที่จะได้รับตะกั่วจากดินและฝุ่น โดยการกินและสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4) แหล่งอาหารและน้ำดื่ม พืชผลที่เจริญเติบโตบริเวณสถานบริการน้ำมันหรือใกล้ทางสัญจรจะมีความเข้มข้นของตะกั่วที่สะสมจากตะกั่วในอากาศมากกว่าพืชผลที่เจริญเติบโตในบริเวณอื่นตะกั่วสามารถสะสมในอาหารระหว่างขบวนการผลิตการขนส่ง อาหารกระป๋อง โดยเฉพาะอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด จะสามารถละลายส่วนที่เป็นตะกั่วจากกระป๋องที่บรรจุได้ ตะกั่วในน้ำดื่มส่วนใหญ่ได้มาจากการละลายจากท่อประปาที่มีตะกั่วผสมอยู่ โดยเฉพาะดื่มน้ำดังกล่าวมีฤทธิ์เป็นกรดด้วย

2.5) แหล่งจากเครื่องถ้วยชามที่เคลือบปนด้วยสารตะกั่ว ในสหรัฐอเมริกามีการรายงานการเป็นพิษของตะกั่วอยู่หลายครั้ง จากแหล่งเครื่องถ้วยชามนี้ เพราะเครื่องถ้วยชามสามารถปล่อยตะกั่วจำนวนมากไปในอาหารและเครื่องดื่มได้ โดยเฉพาะชิ้นที่มีการแตกร้าว หรือแม้แต่มีการใช้มากและล้างขัดมาก

2.6) แหล่งสีที่มีตะกั่วเป็นพื้น เป็นแหล่งที่ให้ตะกั่วปริมาณสูงโดยน้ำหนักของสีขณะแห้งเล็กที่อาศัยอยู่ในบ้านที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่วหรือบ้านที่ทาสีด้วยสีที่มีตะกั่ว ทั้งสีภายในและภายนอก เป็นเด็กที่เสี่ยงต่อการได้รับตะกั่ว ซึ่งถ้าสีเหล่านั้นเก่าและมีการหลุดลอกออกจะเกิดขึ้นเล็กๆ และมีฝุ่นตะกั่วผสมอยู่ตามพื้นทำให้ได้รับตะกั่วเข้าไปสะสมในร่างกายได้



รูปที่ 3.3 แสดงแหล่งปนเปื้อนตะกั่วจากแหล่งต่าง ๆ

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

2.7) สีจากแหล่งอื่นๆตะกั่วสามารถพบในยาแผนโบราณ เช่น ยาจีนหลายชนิด ซึ่งเราอาจได้รับตะกั่วจำนวนมากๆ ต่อครั้งได้ อาจได้รับจากการสูดดมน้ำมันก๊าซโซลีน การเผาไขมันที่ทิ้งแล้ว จากกระดาษหนังสือพิมพ์ สีจากเปลือกแบตเตอรี่ ในเครื่องสำอางที่ผลิตขึ้นอย่างไม่เหมาะสม บางชนิด การใช้น้ำมันหล่อลื่นบางชนิดที่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงร้อยละ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การผลิตตะกั่ว

การผลิตตะกั่วจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ตะกั่วปฐมภูมิ (primary lead) และ ตะกั่วทุติยภูมิ (secondary lead) ประเภทแรกนั้นเป็นการผลิตตะกั่วจากการถลุงแร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกาลีนา (PbS) แล้วหลอมให้บริสุทธิ์ ส่วนประเภทหลังนั้นเป็นการหลอมเศษตะกั่ว ส่วนใหญ่ได้แก่ แบตเตอรี่ แล้วนำกลับมาใช้ใหม่อีก ในการผลิตทั้ง 2 ประเภทนั้นทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนสารตะกั่วในสภาวะแวดล้อม ทั้งดิน น้ำ และอากาศ นอกจากนี้ยังมีผลต่อเนื่องไปยังประชาชนผู้อยู่ในบริเวณใกล้เคียงอีกด้วย

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

น้ำมันผสมตะกั่วอินทรีย์ คือ ก. ตะกั่วเตตราแอลกิล ได้แก่ ตะกั่วเตตราเมทิล (tetramethyl lead) ตะกั่วเตตราเอทิล (tetraethyl lead) และ ข. ตะกั่วแอลกิลไตรเอทิลเมทิลผสม (mixed alkyltriethylmethyl lead) คือ ตะกั่วโคเอทิลเมทิล และตะกั่วเอทิลไตรเมทิล

ส่วนใหญ่ใช้ตะกั่วแอลกิล คือ ตะกั่วเตตราเอทิล และตะกั่วเตตราเมทิล เป็นสารผสมในรถยนต์ สารประกอบตะกั่วอินทรีย์ทั้งสองเป็นของเหลว ไม่มีสี และระเหยกลายเป็นไอได้น้อยกว่าน้ำมัน จุดเดือดของตะกั่วเตตราเมทิลเป็น 110°C และตะกั่วเตตราเอทิลเป็น 200°C .

ตะกั่วอินทรีย์ในน้ำมันเบนซินแตกตัวระหว่างการสันดาปในเครื่องยนต์และกลายรูปเป็นตะกั่วอนินทรีย์และ 78% ของตะกั่วซึ่งใช้ในน้ำมันรถยนต์ออกสู่บรรยากาศทางท่อไอเสียในรูปสารประกอบตะกั่วอนินทรีย์ ปริมาณตะกั่วจะเพิ่มมากขึ้นในขณะที่ขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูง และจะลดน้อยลงเมื่อรถเดินเครื่องอยู่กับที่หรือเมื่อไปๆ หยุดๆ ส่วนที่เหลือ 20-25% ยังคงตกค้างอยู่ในท่อไอเสีย ตะกั่วอนินทรีย์ซึ่งระบายออกทางท่อไอเสียนี้อยู่ในรูปของอนุภาคมลสาร ส่วนตะกั่วเตตราแอลกิล อยู่ในรูปไอมีส่วนน้อยจะถูกดูดซับติดกับอนุภาคมลสาร จะแยกตะกั่วอนินทรีย์ออกได้ด้วยการกรองตัวอย่างอากาศ ดังนั้นอนุภาคมลสารขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอนจะตกลงสู่พื้นและลอยฟุ้งอยู่ในบรรยากาศไม่ได้นาน โดยส่วนมากที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 ไมครอนจะถูกกักอยู่ในช่องจมูกและหลอดลมในส่วนลำคอ และอนุภาคมลสารที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอนจะเข้าสู่ระบบหายใจส่วนล่าง ซึ่งรวมทั้งส่วนต่างๆ ของปอด

ดังนั้นสารประกอบตะกั่วในน้ำมันจึงอาจสามารถกระจายไปได้ไกลและอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมบริเวณห่างไกลความเจริญได้ ฝนก็อาจชะล้างตะกั่วออกจากบรรยากาศได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การใช้ตะกั่วในวงการอุตสาหกรรม

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) สารประกอบอนินทรีย์ตะกั่ว

- โลหะตะกั่วใช้ผสมในแท่งโลหะผสมหรือผงเชื่อมบัดกรีโลหะ นำมาทำเป็นแผ่น หรือท่อโลหะใช้ในอุตสาหกรรมเคมีเพื่อป้องกันการกัดกร่อน แผ่นกรอง กรองในอุตสาหกรรมรถยนต์ ทำลูกปืน ฉากกันสารกัมมันตรังสี
- 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 ตะกั่วอะซิเตต (Lead acetate) ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ครีมใส่ผม

(2) สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว

เตตราเอทิลเลด (Tetraethyl lead) และเตตราเมทริลเลด (Tetramethyl lead) โดยใช้เป็น "สารกันน็อก" หรือสารป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์เวลาทำงาน โดยใช้ผสมในน้ำมันเบนซิน เพื่อให้เชื้อเพลิงมีค่าออกเทนสูงขึ้น

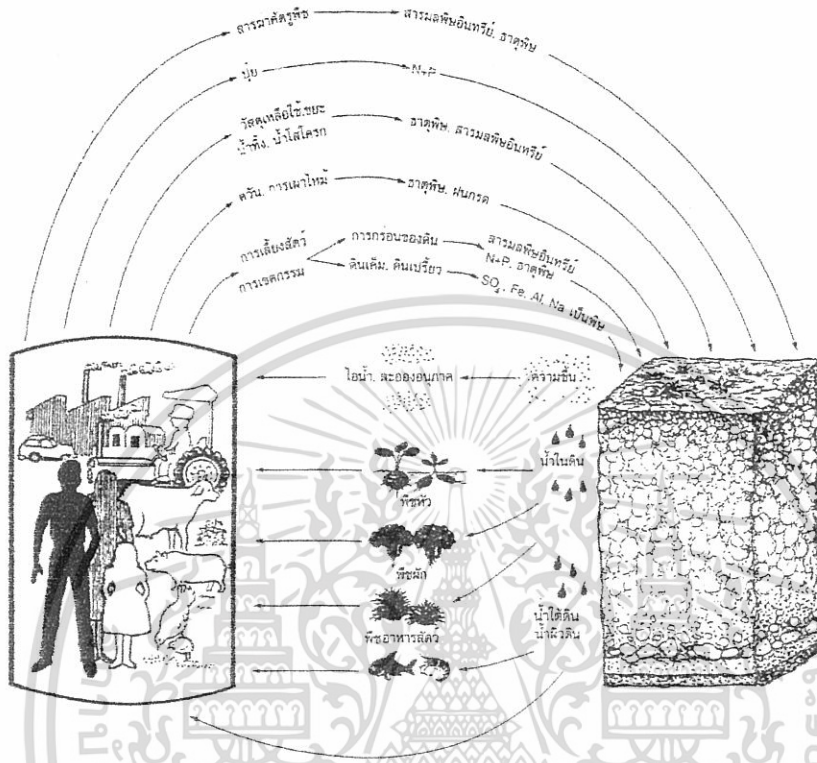
3.5 ความเป็นพิษของตะกั่ว

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การดูดซึมของตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ



รูปที่ 3.4 แสดงเส้นทางการเข้าสู่ร่างกาย

ที่มา : สุภมาศ (๒๕๓๘)

(1) การดูดซึมจากระบบทางเดินอาหาร

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

(2) การดูดซึมจากระบบทางเดินหายใจ

การหายใจเอาควันหรือฟุ้งของตะกั่วที่หลอมเหลวเข้าไป เช่น จากการหลอมตะกั่วหรือเชื่อมโลหะ ซึ่งเป็นทางเข้าสู่ร่างกายอันดับแรกของผู้ประกอบอาชีพที่สัมผัสตะกั่ว เช่น คนงานในโรงงานหลอมตะกั่ว แบตเตอรี่ โรงงานผลิตสี ฯลฯ

(3) การดูดซึมทางผิวหนัง

เกิดเฉพาะตะกั่วอินทรีย์เท่านั้น ผู้ที่มีโอกาสได้รับตะกั่วทางผิวหนัง ได้แก่ คนงานที่ทำงานในปั๊มน้ำมัน ช่างซ่อมรถยนต์ เนื่องจากในอุตสาหกรรมน้ำมันมีการเติม เตตราเอทิลเลด (Tetraethyllead) เป็นสารที่ส่งเสริมการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เพื่อเพิ่มกำลังม้า แต่เนื่องจากเตตราเอทิลเลดไม่ผ่านการกลั่น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Tetraethyl lead) หรือ เตตราเมทิลเลด (Tetramethyl lead) ผสมในน้ำมันเบนซิน ดังนั้น เมื่อคนงานถูกน้ำมันรถผิวหนัง หรือใช้น้ำมันเบนซินล้างมือ เตตราเอทิลสามารถละลายชั้นไขมันของผิวหนังได้ ตะกั่วจึงสามารถซึมผ่านผิวหนังและเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดของร่างกายไปสู่ตับ และจะเปลี่ยนเป็นไตรเอทิลเลด (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" เป็นสาเหตุให้ผู้ป่วยมาโรงพยาบาลผู้ป่วยอาจปวดท้องจนคลื่นตัวจน อาการปวดท้องนี้อาจทำให้แพทย์วินิจฉัยโรคผิดว่าเป็นอาการปวดท้องเนื่องจากสาเหตุทางศัลยกรรมได้ เช่น ไส้ติ่งอักเสบ นอกจากนี้การดื่มสุรา หรือภาวะเจ็บป่วยอื่นๆ จะเป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกั่วจากที่เก็บสะสมไว้ ออกมากขึ้น นอกจากนี้อาจตรวจพบแนวเส้นตะกั่วบริเวณเหงือก (Lead line) มีลักษณะเป็นเส้นสีน้ำเงิน - ดำ จับอยู่ที่ขอบเหงือกต่อกับฟันห่างจากฟันประมาณ 1 มิลลิเมตร พบบ่อยบริเวณฟันหน้ากราม และฟันกราม

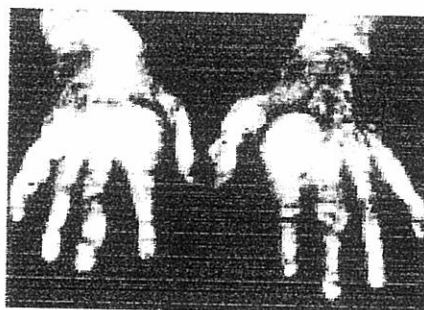
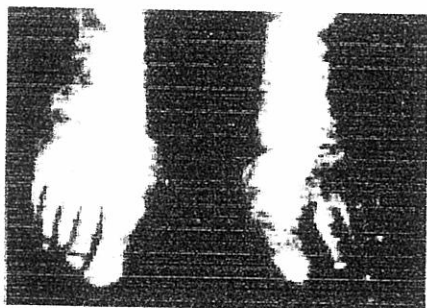


รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะแนวเส้นตะกั่วบริเวณเหงือก (Lead line)

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

(1.2) อาการทางระบบประสาทส่วนปลาย ผู้ป่วยจะมีอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อแขนและขา บางครั้งมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อ และข้อต่อต่างๆ ถ้าร่างกายได้รับตะกั่วปริมาณมากเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดอัมพาตของกล้ามเนื้อได้ ซึ่งมักจะเกิดกับกล้ามเนื้อที่ใช้เหยียดข้อมืออ่อนแรง ทำให้เกิดอาการที่เรียกว่า ข้อมือตกร หรือข้อเท้าตกร การเป็นอัมพาตมักจะ ไม่ทำให้ประสาทความรู้สึกละเลยส่วนมากมักจะเป็นเฉพาะกล้ามเนื้อข้างใดข้างหนึ่งของแขนหรือขาเท่านั้น และมักจะมีอาการข้างที่ถนัดก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงอาการทางระบบประสาทส่วนปลาย

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

(1.3) อาการทางสมอง เป็นอาการแสดงที่พบว่ารุนแรงที่สุด มักพบในเด็กที่ได้รับตะกั่วอินทรีย์ หรือสูดเอาไอและละอองฝุ่นตะกั่วเข้าไปมาก สำหรับผู้ใหญ่พบได้น้อย โดยมากเกิดจากตะกั่วอินทรีย์

(1.4) อาการทางโลหิต ผู้ป่วยมักจะมีอาการซีดเหลือง อ่อนเพลีย นอกจากอาการดังกล่าวแล้วผู้ป่วยมักมีอาการปวดศีรษะ มึนงง ในรายที่เป็นเรื้อรังพบว่ามีอาการตัวเหลือง ตาเหลืองได้ด้วย

(1.5) ตะกั่วที่สะสมในร่างกาย ตะกั่วจะไปสะสมที่กระดูก เมื่อเอกซเรย์จะเห็นเป็นแนวเส้นโลหะ Metallic Line แล้วยังสะสมที่ไต จนเกิดไตอักเสบ Nephropathy



รูปที่ 3.7 แสดงตะกั่วที่สะสมในร่างกาย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.) พิษตะกั่วในเด็ก

(2.1) ระบบประสาทโดยตะกั่วจะทำลายทั้งระบบประสาทส่วนกลาง และระบบประสาทส่วนปลาย ยิ่งอายุน้อยระบบประสาทยิ่งถูกทำลายมาก ดังนั้นในเด็กเล็กจึงเป็นอันตรายอย่างยิ่ง

(2.2) ระบบทางเดินปัสสาวะ ตะกั่วทำลายไตโดยตรงทำให้เกิดการฝ่อลีบของบริเวณที่กรองปัสสาวะ

(2.3) ระบบเลือด นอกจากจะทำให้เม็ดเลือดแดงแตกง่ายแล้ว ตะกั่วยังขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบิน ทำให้มีอาการซีด โลหิตจางได้ นอกจากนี้ระดับตะกั่วในเลือด ตั้งแต่ ๒๕ ไมโครกรัมต่อเดซิลิตรขึ้นไป มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ทำให้การเจริญเติบโต ทำให้การเจริญเติบโตไม่สมอายุ

(2.4) พิษต่อหัวใจ ทำให้เกิดกล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ

(2.5) ระบบทางเดินอาหาร ทำให้กล้ามเนื้อเรียบมีการเกร็ง เกิดอาการปวดท้องมาก

3.8 การแก้พิษตะกั่ว

(1) ถ้าได้รับตะกั่วปริมาณมากเข้ากระเพาะควรรักษาโดยให้ทิงเจอร์เบลดคอนนาบรธา อาการปวดท้อง หรือให้อะโทรปีนและขจัดการดูดซึมของตะกั่วให้น้อยลง โดยกินอาหารประเภทนม ผัก และเกลือแคลเซียม

(2) ให้กำจัดตะกั่วโดยกินแมกนีเซียมซัลเฟตเพื่อเร่งการขับถ่ายอุจจาระ ถ้าปวดท้องมากควรฉีดแคลเซียมกลูโคเนต 10 ซีซี เข้าเส้นเลือดดำซ้ำๆ

(3) กรณีชัก อาจให้ Diazepam เพื่อป้องกันการชัก

(4) ใช้ยาต้านพิษ (Antidote) ฉีดแคลเซียม ไดโซเดียมเอดิเตต (Calcium Disodium Edetate, Ca-EDTA) เข้าเลือดดำ หรือ ฉีดไดเมอร์แคพโรล (Dimercaprol, BAL) เข้าเลือดดำ หรือกินเพนิซิลลิมีน Penicillamine ก่อนอาหาร

(5) การรักษาเฉพาะคือการให้ยาขับตะกั่ว เช่น ยาแผนไทยเพื่อขับตะกั่วออกจากร่างกายที่ละน้อย คือ รากชะเอมเทศ หรือ ชะเอมจีน และเมล็ดเฮ้งยี่น กินก่อนอาหาร

3.9 การควบคุมและป้องกันตะกั่ว

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

(2) ใช้เครื่องป้องกันไอตะกั่ว ป้องกันฝุ่น เช่น ใช้หน้ากากที่มีตัวกรองตะกั่ว

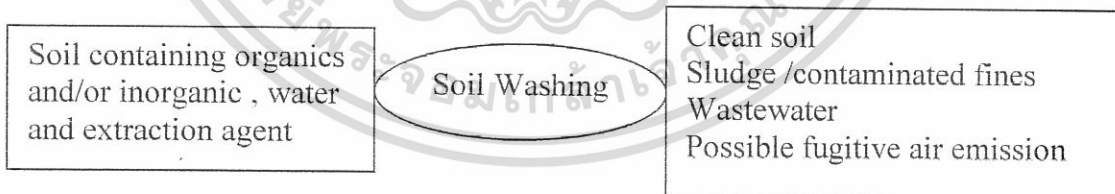
(3) ตรวจสอบสภาพว่ามีพิษตะกั่วหรือไม่ เช่น ตรวจสอบปัสสาวะ ตรวจเลือด โดยค่ามาตรฐาน ความเข้มข้นของตะกั่วในเลือด ไม่ควรเกิน 0.08 มก.

3.10 เทคโนโลยีในการบำบัดสารมลพิษในดิน

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

(1) การล้างดิน (soil washing)

การล้างดิน (soil washing) เป็นการนำดินออกมาล้างนอกบริเวณที่เป็นปนเปื้อนด้วยกระบวนการสกัดและแยกสารปนเปื้อนอินทรีย์ อนินทรีย์และกัมมันตรังสีออกจากดินด้วยการใช้สารเคมี หรือ วิธีการทางกายภาพมักจะถูกนำมาใช้เป็นการบำบัดเบื้องต้น เพื่อลดปริมาณของของเสียก่อนการกำจัดโดยวิธีอื่น ดังแผนภาพการล้างดินดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงการล้างดิน

ที่มา : USEPA 1993

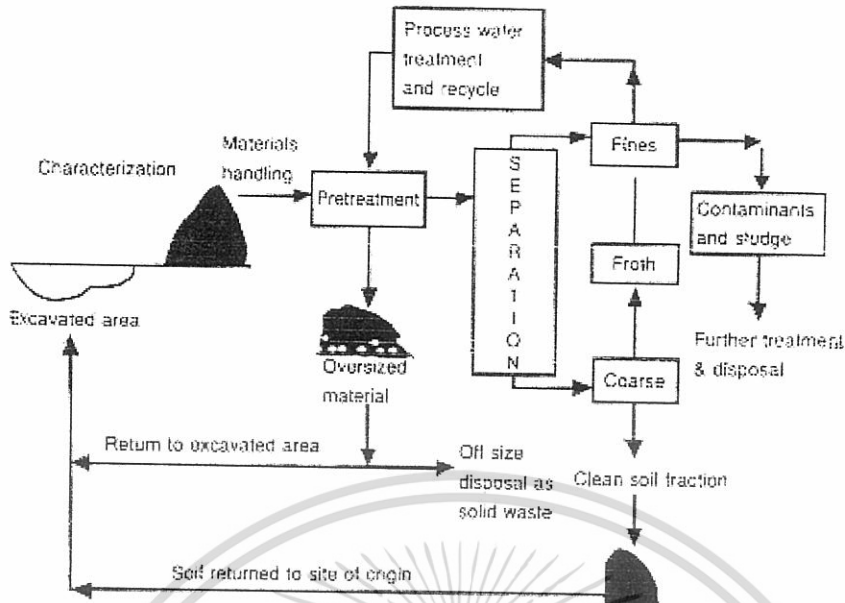
วิธีการคือ การขุดดินและนำมากองไว้ ทำการบำบัดเบื้องต้นเพื่อกำจัดไม่ให้มีวัสดุใหญ่มากเกินไปด้วยการล้างน้ำและอาจจะใช้สารทำความสะอาดอื่นเพื่อทำการแยก และรวมสารปนเปื้อนออกมา กระบวนการนี้จะได้อินทรีย์สารกลับคืนมาใช้ประโยชน์และสารปนเปื้อนที่เข้มข้นในส่วนอื่นของดินอีกส่วนหนึ่ง เพื่อนำไปบำบัดในขั้นต่อไป วิธีการนี้เป็นการลดปริมาณของดินที่มีการปนเปื้อนในขั้นต้นให้เหลือน้อยที่สุดหรือเป็นศูนย์ ซึ่งช่วยลดต้นทุนในการบำบัดดินได้มาก อย่างไรก็ตามอีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปนเปื้อนที่จะต้องการบำบัด สามารถลดค่าใช้จ่ายได้มาก การทำการแยกสารปนเปื้อนออกจากดินนั้นอาจจะใช้การสกัดด้วยวิธีทางกายภาพหรือเคมี และอาจจะใช้เทคนิคในการแยกสารปนเปื้อนที่เป็นพวกสารอินทรีย์ อนินทรีย์และกัมมันตรังสีออกจากดิน วิธีการด้วยการขุดดินนำมากองไว้แล้วทำการร่อนด้วยตะแกรงเพื่อกำจัดวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าออกไป สารปนเปื้อนอาจจะถูกกวนผสมและทำการขจัดด้วยการใช้น้ำล้างอาจจะใช้สารลดแรงตึงผิวของสารอื่นทำการล้าง แล้วทำการแยกดินนั้นออกจากน้ำที่ล้างซึ่งน้ำล้างดังกล่าวมีสารปนเปื้อนอยู่ ดินที่ผ่านการล้างแล้วจะประกอบด้วยดินที่มีความหยาบ ได้แก่ กรวด ทรายที่สะอาดที่มีขนาดใหญ่กว่า 230 mesh หรือใหญ่กว่า 63 microns และดินละเอียดที่มีการปนเปื้อน ดินทรายโคลนและดินเหนียวขนาดเล็กกว่า 230 mesh หรือ 63 microns และส่วนของสารอินทรีย์หรืออิมพัสที่ปนเปื้อนอยู่ ซึ่งสารปนเปื้อนดังกล่าวนี้จำเป็นที่จะต้องกำจัดออกด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น การทำลายโดยความร้อน (thermal destruction) การใช้ความร้อนไล่การดูดซับออก (thermal desorption) หรือใช้วิธีทางชีวภาพ (Bioremediation)

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

การล้างดินมักจะนิยมใช้การล้างดินที่มีการปนเปื้อนด้วยสารที่ไม่มีความซับซ้อน (non-complex soil) เช่น มีทรายและกรวดไม่น้อยกว่า 50 % จะไม่มีประสิทธิภาพพอเพียงสำหรับดินที่มีดินเหนียวและดินทรายปนโคลนอยู่มาก นอกจากนี้ดินที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง เนื่องจากมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนสารมลพิษได้สูงและมีแนวโน้มที่จะทำการยึดสารมลพิษไว้แน่นกว่าซึ่งถ้าเป็นเช่นนั้นการล้างดินก็จะไม่เกิดประสิทธิภาพดีเท่าที่ควร เทคโนโลยีในการใช้ล้างดิน ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงรูปแบบหลักของการล้างดินทั่วไป
ที่มา : USEPA 1993

1.1.) การบำบัดเบื้องต้น (pretreatment) การบำบัดเบื้องต้นเป็นการกำจัดวัสดุที่มีขนาดใหญ่หายออกไป และทำให้เกิดความเป็นเนื้อเดียวกันของสารที่จะเติมเข้าสู่กระบวนการล้างกระบวนการที่อาจจะถูกนำมาใช้อาจจะเป็นการคลุด การขูด และการบด การใช้ตะแกรงกรองเครื่องร่อน/เขย่าและเครื่องป้อนวัตถุแบบเครื่องแยกแบบแรงโน้มถ่วง เครื่องกวานและผสมและเครื่องกำจัดแม่เหล็ก การเลือกวัตถุขนาดใหญ่ออกจากเศษวัสดุก่อสร้างและของเสียเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 มม. (2 นิ้ว) วัสดุปกติก็มีสารปนเปื้อนขนาดใหญ่ที่ไมต้องการการบำบัดด้วยวิธีการอื่นหรืออาจจะนำกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น โลหะ ไม้ เป็นต้น

1.2.) การแยกออก (separation) ในการออกแบบอันดับแรกเพื่อที่จะทำการแยกของแข็งขนาดใหญ่และของแข็งขนาดเล็กออกจากกันที่ขนาด 63 ถึง 74 ไมครอน (230 ถึง 200 mesh) จุดตัดของทั้งสองขนาดดังกล่าวนี้ ต้องการการบำบัดขั้นสุดท้ายในการทำความสะอาดที่มีความแตกต่างกันรวมถึงการแยกเอาของแข็งที่หายกว่าออกได้ด้วยเทคนิคธรรมดา มักจะใช้ Hydrocyclone ส่วนของแข็งที่มีขนาดละเอียดกว่าอาจจะทำให้ตกตะกอนด้วยวิธีการที่แตกต่างออกไปได้หลายอย่าง

1.3.) การบำบัดของแข็งเม็ดหยาบ (Coarse-grained treatment) หลังจากผ่านขั้นตอนการแยกแล้ว ของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่า (63-74 ไมครอน หรือ 230-200 mesh) ควรจะมีจำนวนประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของของแข็งทั้งหมดโดยน้ำหนัก การเพิ่มเติมการบำบัดสามารถทำได้ด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ไซโคลนและให้ส่วนที่เป็นน้ำถูกส่งไปยังการบำบัดของแข็งที่ละเอียดกว่าเพื่อการนำของแข็งกลับมาใช้ประโยชน์อีก ส่วนใหญ่สารปนเปื้อนมักจะพบในของแข็งที่มีความละเอียดกว่า แต่ส่วนของแข็งที่หยาบกว่า ก็จำเป็นที่จะต้องทำการกำจัดสารมลพิษที่ถูกดูดซับไว้ออกไปหรือที่ถูกห่อหุ้มไว้ที่ของแข็งขนาดใหญ่กว่า มีวิธีการต่างหลายวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการล้างเศษของเสีย เช่น การล้างให้เกิดการเสียดสีที่หน้าดิน การบำบัดด้วยการละลายด้วยกรดหรือด่าง หรือการใช้สารตัวทำละลายเพื่อการละลายสารปนเปื้อนสามารถที่จะใช้ในการปล่อยสารปนเปื้อนจากของแข็งที่อยู่ในส่วนของของเหลว ส่วนของแข็งจะถูกนำไปทำการแยกต่อไปและอาจจะส่งไปบำบัดของแข็งละเอียดกว่าหรือการบำบัดส่วนที่เป็นน้ำเพื่อการกำจัดสารปนเปื้อนที่เป็นเป้าหมาย

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

1.4.) การบำบัดของแข็งละเอียด (fine-grained treatment) ถึงแม้ขนาดของแข็งที่จะทำการแยกอนุภาคเริ่มจากขนาดเล็กกว่า 63 ถึง 74 ไมครอน (230 ถึง 200 mesh) และโดยทั่วไปมักจะมีขนาดของแข็งที่อยู่ในช่วงคอลลอยด์ 6-10 ไมครอน รวมถึงน้ำที่ผ่านกระบวนการแยกจากไวโคลนไหลคืนออกมานั้นค่อนข้างเจือจางประมาณ 5-10% โดยน้ำหนักของแข็งเหล่านี้จะตกตะกอนอย่างช้าๆ และบางครั้งอาจจะไม่ตกตะกอนเลยเนื่องจากเป็นพวกคอลลอยด์และคอลลอยด์ การแยกออกตามความเข้มข้นนั้น ส่วนที่มีขนาดเล็กมีความจำเป็นต่อการเลือกวิธีการในการจัดการเศษตกค้าง (residuals management step) ต่อไป ซึ่งวิธีการขึ้นอยู่กับลักษณะและความเข้มข้นของสารปนเปื้อนการทำความสะอาดให้ได้มาตรฐาน 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 และคอลลอยด์ปนเปื้อนอยู่ด้วย

- เกลือละลายน้ำ (dissolved salts) ที่มีอยู่ในดินดั้งเดิม ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีโซเดียมและคลอไรด์ละลายอยู่ ซึ่งอาจจะมีปริมาณมากพอที่จะล้างออกแล้วนำกลับคืนไปเป็นประโยชน์ หรือถ้ามีปริมาณมากกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งก็อาจจะปล่อยทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำเสียสาธารณะหรือแหล่งน้ำธรรมชาติตามความต้องการ

- สารประกอบอินทรีย์ฮิวมิก เช่น ไบโอมัธ รากไม้ กิ่งไม้ เป็นต้น ซึ่งจำเป็นที่จะต้องกำจัดออกให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่า pH อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่ต้องการเพื่อนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้หรือไปกำจัด

- โลหะหนักที่ละลายน้ำหรือที่สามารถละลายน้ำได้ ต้องการการบำบัด และการกำจัด

- สารปนเปื้อนอื่นๆ เช่น ไฮโดรคาร์บอนปิโตรเลียมที่ลอยอิสระต้องการการกำจัดออก

น้ำล้างจะต้องถูกนำมาบำบัดเพื่อการหมุนเวียนกลับมาใช้อีกหรือเพื่อนำกลับมาสู่กระบวนการหรือเพื่อการกำจัดน้ำที่จะนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ที่ไม่ต้องการให้มีคุณภาพดีเหมือนกับที่จะต้องระบายสู่ท่อระบายน้ำเสีย หรือสู่แหล่งน้ำเพราะฉะนั้นเพื่อให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่าย ควรมีการใช้ซ้ำเท่าที่ไม่มีผลเสียต่อกระบวนการบำบัดด้วยการล้างดิน น้ำล้างที่จะปล่อยสู่ท่อระบายน้ำหรือแหล่งน้ำจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมาย เช่น pH อยู่ในช่วงเช่น 6-9 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดโดยเฉพาะที่กำหนดสูงสุดของอ็อกซิเจนหรือสารประกอบ คาร์บอนไดออกไซด์ หรือคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำมัน และไขมันทั้งที่ละลายและไม่ละลายน้ำ สารแขวนลอยและของเสียมิพิชหรือของเสียอันตรายอื่นๆ

ถ้า น้ำล้างไม่เป็นไปตามมาตรฐานการระบายจะต้องแสดงใบกำกับเป็นของเสียอุตสาหกรรมหรือของเสียอันตรายและนำไปบำบัดในระบบบำบัดและกำจัดของเสียศูนย์กลาง ซึ่งขึ้นอยู่กับของเสียในน้ำล้างและเกณฑ์กฎหมายที่อนุญาตให้มีการปล่อยทิ้งได้ วิธีการบำบัดที่สามารถที่จะนำมาใช้ในการบำบัดเป็นวิธีเดียวกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบในน้ำที่ต้องการบำบัด โดยกระบวนการบำบัดที่นิยมใช้ ได้แก่ การทำให้เป็นกลาง (neutralization) การบำบัดด้วยถ่าน (carbon treatment) การกำจัดไอออน (ion exchange) การรวมตะกอน (flocculation) การตกตะกอนและการทำให้ตะกอนเข้มข้นขึ้น (sedimentation and thickening) การคั่งน้ำออก (dewatering) และการไล่สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายออก (volatile organics tripping)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.) การชะล้างไล่สารปนเปื้อนในดิน (Soil Flushing)

เป็นการใช้น้ำชะล้างไล่สิ่งสกปรกออกจากดินเป็นกระบวนการที่กระทำในบริเวณดินปนเปื้อน (in situ process) ด้วยการใช้น้ำหรือแก๊สผสมเพื่อเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนออกจากดินเพื่อนำดินกลับมาใช้ประโยชน์และการบำบัดต่อไป

การใช้น้ำชะล้างไล่สารปนเปื้อนในดินให้ไหลออกไปเพื่อเป็นการนำกลับมาใช้ประโยชน์และเป็นการบำบัดดินแหล่งนั้น เป็นการใช้น้ำหรือส่วนผสมของแก๊สเพื่อทำการเร่งให้สารที่มีลักษณะทางภูมิเคมีเหมือนกันหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งชนิดไม่ทำปฏิกิริยาในการละลายเพื่อทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในระบบน้ำใต้ดิน มักพบในระบบเครื่องสูบน้ำใต้ดินด้วยกลไกในการขนถ่ายสารปนเปื้อนในชั้นใต้ผิวดิน ประสิทธิภาพในการขนถ่ายสารปนเปื้อนขึ้นกับสารปนเปื้อนและลักษณะทางอุทกวิทยาขึ้นอยู่กับสารปนเปื้อนว่ามีสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และกัมมันตรังสี การขนถ่ายสารปนเปื้อนมักจะเกิดประสิทธิภาพถ้าเป็นดินชนิดเดียวกัน มีความสามารถซึมน้ำได้ เช่น ดินทรายหรือทรายปนโคลน อาจจะใช้ในการนำกลับน้ำมันกลับมาใช้ด้วยการใช้สารออกซิไดซิงค์

การใช้น้ำชะล้างไล่สารปนเปื้อนในดินแยกออกเป็น 3 กิจกรรม

1) ลักษณะของสถานที่ตั้ง ที่อยู่เหนือ หรือภายในหรือต่ำกว่าบริเวณดินที่มีการปนเปื้อน ต้องมีความเข้าใจถึง อุทกวิทยา เคมี และความสามารถในการซึมน้ำได้ของดิน รวมถึงการศึกษาในเรื่องของหิน

2) การฉีดของเหลวลงไปในดิน การใส่ของเหลวลงในดินหรือการสูบน้ำใต้ดิน ด้วยการทำให้ น้ำท่วมดิน หรือด้วยการหมุนวนน้ำไหลผ่านชั้นใต้ดิน และวิธีอื่นๆ เมื่อสารปนเปื้อนถูกน้ำไล่ชะล้างออกไป น้ำที่ใช้ทำการชะล้างสารปนเปื้อนอาจจะถูกนำออกไปหรืออยู่ในสภาพของการเกาะอยู่ที่ดิน

3) เทคนิคในการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนและการนำกลับมาใช้ประโยชน์ เทคนิคที่นำมาใช้ในการทำให้สารปนเปื้อนเกิดการเคลื่อนที่

การไล่สารปนเปื้อนด้วยน้ำมักใช้ในการไล่สารปนเปื้อนที่เป็นพวกปิโตรเลียม ไฮโดรคาร์บอน คลอริเนเต็ดไฮโดรคาร์บอน โลหะ เกลือ สารปราบศัตรูพืช - สัตว์ สารปราบวัชพืชและกัมมันตรังสีไอโซโทป ประสิทธิภาพในการทำงานด้วยวิธีนี้มักจะเกิดจากการที่ดินมีความเป็นเนื้อเดียวกันและมีความสามารถในการซึมน้ำได้ การล้างไล่สารปนเปื้อนอาจจะเป็นผลจากการเคลื่อนที่ของสิ่งสกปรกออกมาจากการสลายนำกลับมาใช้ในการบำบัดดิน ด้วยสารออกซิไดซ์ซิงค์และทำให้เกิดการนำกลับน้ำมัน (oil) มาใช้ประโยชน์

การดูดซับสาร / การคายสาร (adsorption / desorption)

ปฏิกิริยากรด / ด่าง (acid / base reaction)

ปฏิกิริยาการละลายน้ำ / การตกผลึก (solution / precipitation reaction)

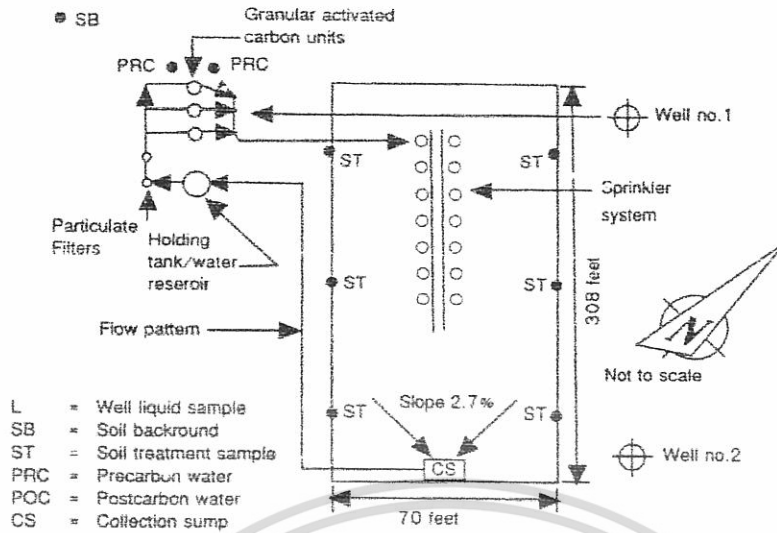
เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงวันเวาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน / ปฏิกิริยารีดักชัน (oxidation / reduction reaction)
 การควบอออน / การทำให้เกิดสารเชิงซ้อน (Ion pairing / complexation)
 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)
 ของเหลวที่ถูกนำมาใช้และ/หรือดึงจากน้ำใต้ดินในบริเวณชั้นกลาง (intermediate area)
 นำเข้าสู่ดินด้วยการฉีดพ่น (spray) ดังรูปที่ 3.10 และ 3.11 หรือด้วยการทำให้น้ำท่วมผิวบริเวณชั้น
 ดินใต้ผิวจะถูกชะล้างหรือด้วยการฉีดน้ำใต้ผิวดิน

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้สารลดแรงตึงผิวในการล้างดินในสถานที่

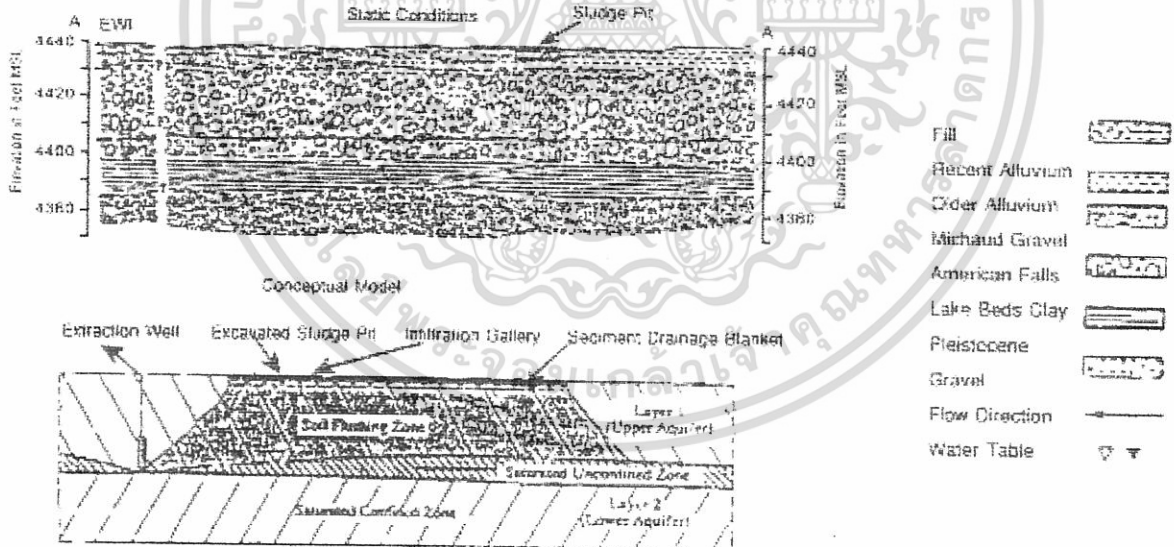
ปัจจัย	สภาวะที่เหมาะสม
ลักษณะของดิน	
: ขนาดของอนุภาค	มีดินทรายปน โคลนและดินเหนียว
: TOC	ต่ำ น้อยกว่า 10 %
: ค่าความนำชลศาสตร์ (Hydraulic Conductivity)	medium to high > 10
ลักษณะของของเสีย	Hydrophobic $K_{ow} = 3$ or less Nonvolatile Organic
ลักษณะของสารลดแรงตึงผิว	ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายทางชีวภาพได้ละลายที่ อุณหภูมิในน้ำใต้ดิน ไม่ดูดซับดิน Low – Soil Dispersion Low – Surface tensio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงระบบการล้างใต้สารปนเปื้อนแบบฉีดไหลวน

ที่มา : USEPA 1993



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างแสดงภาพตัดขวางของการล้างใต้สารปนเปื้อนในดิน

ที่มา : USEPA 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 การกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (Soil washing)

Cline และ Reed (1995) ทำการศึกษาวิธีในการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด 5 ชนิดประกอบด้วย H_2O , HCl , $EDTA$, CH_3COOH และ $CaCl_2$ ในการล้างดิน (soil washing) ที่ทำการจำลองการปนเปื้อนตะกั่วโดยใช้ $PbNO_3$ ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 3 ความเข้มข้นคือ 10, 100, 1,000 $mgPb/L$ ใช้เวลาในการสกัดที่แตกต่างกันในช่วงเวลา 15, 30 นาที 1, 4, 8 ชม. 1, 7 วัน โดยใช้ความเข้มข้นของกรดที่ 0.1 N และ 1.0 N ส่วน $EDTA$ ที่ความเข้มข้น 0.01 M และ 0.1 M และ $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 0.1 M และ 1.0 M หลังจากชะล้างแล้วพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของน้ำมีค่าน้อยกว่า 3% ส่วน $EDTA$ และ HCl นั้นมีประสิทธิภาพการสกัดได้สูงถึง 90% และ 89% ตามลำดับ ตามด้วย CH_3COOH 45% และ $CaCl_2$ 36% โดยปกติแล้วประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วนั้นอาจจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินและชนิดของน้ำยาสกัดที่ใช้ในการล้างดิน (soil washing)

Farrar และ Pickering (1978) พบว่า $EDTA$ มีประสิทธิภาพในการกำจัด Cd และ Pb สูงกว่า HCl ในกรณีที่มีการจำลองการปนเปื้อนโดยการเติมโลหะหนักพวกนี้ลงไปในดิน Tuin and Tels (1990) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วจะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่สูงกว่าเมื่อใช้ 0.1 N HCl ก่อน 0.005 M $EDTA$ และผลการทดลองก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเข้มข้นของ $EDTA$ ที่เพิ่มขึ้น

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

Tuin and Tels (1990) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน และทำการสรุปดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในห้องสมุดเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นน้ำยาสกัด

Author	Soil	Extractant,time,L/S	%metal removed Pb
Assink	various	0.1N HCl, 1x30 นาที	10-60
	Sandy and loam	0.1N HCl, 3x30 นาที	20-90
		0.3N HCl, 3x30 นาที	90
		L/S = 5	
Brune	various	2 N HCl 1 hr. , L/S = 10	100
Harter	acidic	0.01 N HCl 1 hr. , L/S = 100	80-90
Randall	Clay loam	0.25 N HCl	71
		1N HCl	74
		4 N HCl	79
		12 hr. , L/S = 20	
Staiger	various	1 N HCl 1 hr. , L/S = 2.5	90

ที่มา : Tuin and Tels (1990)

3.12 ค่ามาตรฐานและค่าวิกฤตของตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินสำหรับการบำบัดดิน

ในบางพื้นที่ของเขตอุตสาหกรรม และบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงที่ทิ้งขยะอันตรายนั้นความเป็นพิษของสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน และแหล่งน้ำใต้ดินเป็นเครื่องชี้ถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพของบุคคลที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง จึงมีการกำหนดค่ามาตรฐานที่จะตัดสินว่าพื้นที่ดังกล่าวควรที่จะทำการพัฒนาหรือกำจัดสารพิษออกจากดิน โดยประเทศเนเธอร์แลนด์ (Dutch authorities) ได้กำหนดค่าระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดิน โดยโลหะในดินจะสัมพันธ์กับ %clay และปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.3 โดยค่า A เป็นระดับอ้างอิง B คือ ค่าที่มีการปนเปื้อนที่ควรจะทำกาการจัดและระดับค่า C เป็นค่าที่มีการปนเปื้อนถึงระดับที่ควรจะทำบำบัดสารที่ปนเปื้อนในดิน

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินที่ไม่ควรเกินค่ามาตรฐานโดยประเทศเนเธอร์แลนด์ (Dutch authorities)

Metal	Soil (mg kg ⁻¹ dry weight)			Groundwater (µg 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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) ถูงพลาสติก
- 16) แท่งแก้วคน
- 17) หลอด centrifuge ขนาด 50 มล.
- 18) หลอดหยด

19) และอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

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

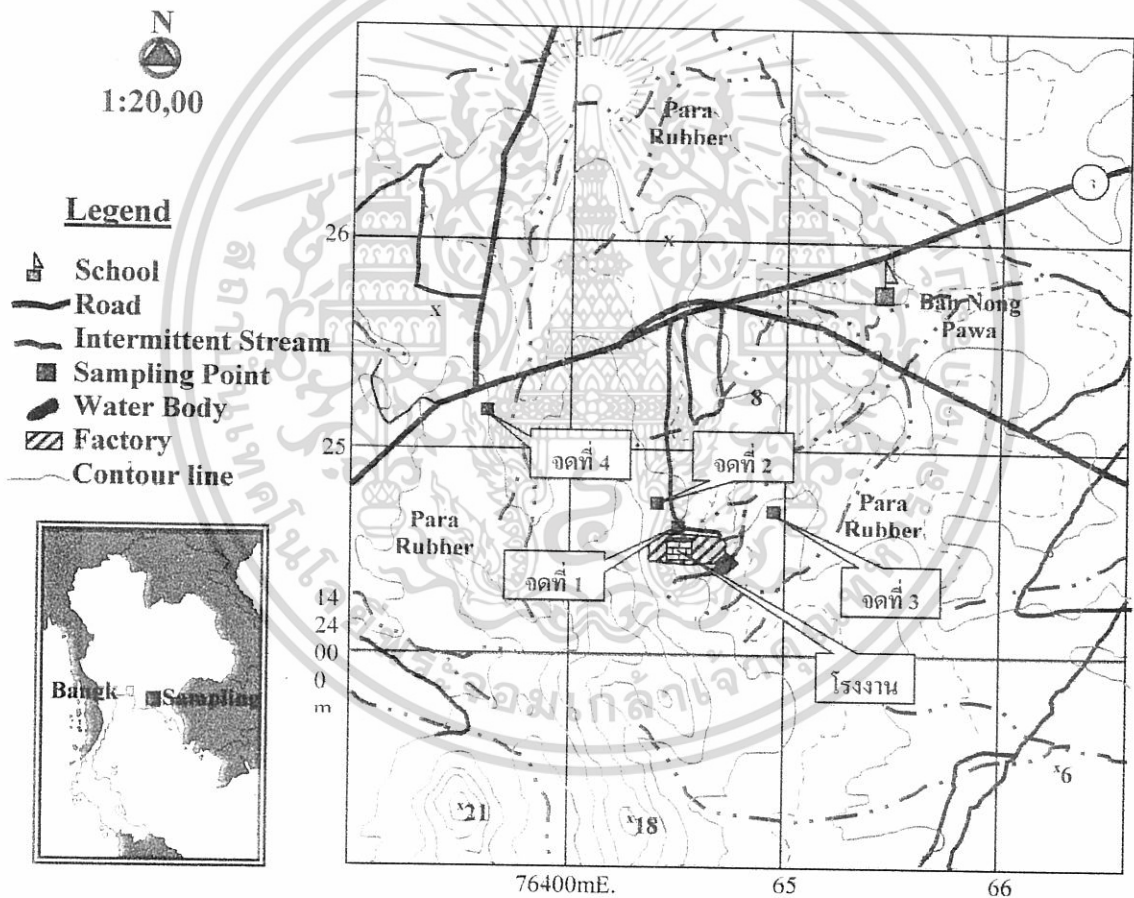
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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) บดด้วย โกร่งบดดินและร่อนเพื่อแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 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 โดยทำการชั่งดินมา 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 (Walkley 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ซึ่งดินโดยแบ่งแต่ละอนุภาคตามนี้ <math>< 2.0\text{ mm}</math>, ประมาณ 1.5 g., 0.5 mm. ประมาณ 3.0 g., 0.1 mm. และ <math>< 0.1\text{ mm}</math>. ประมาณ 1.0 g. บรรจุดินใน leaching tube ที่รองก้นด้วย filter pulp (กระดาษกรองชิ้นเล็กๆ ต้มในน้ำเดือดจนขุ่นแล้ว) ชะดินด้วยสารละลาย NH_4OAc pH 7.0 100 ml. จนดินอิ่มตัวด้วย NH_4^+ (saturation) ล้าง NH_4OAc ส่วนเกินด้วย ethylalcohol 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 (ซึ่ง 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 วิเคราะห์หาปริมาณ Total Pb ที่มีอยู่ในดิน

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

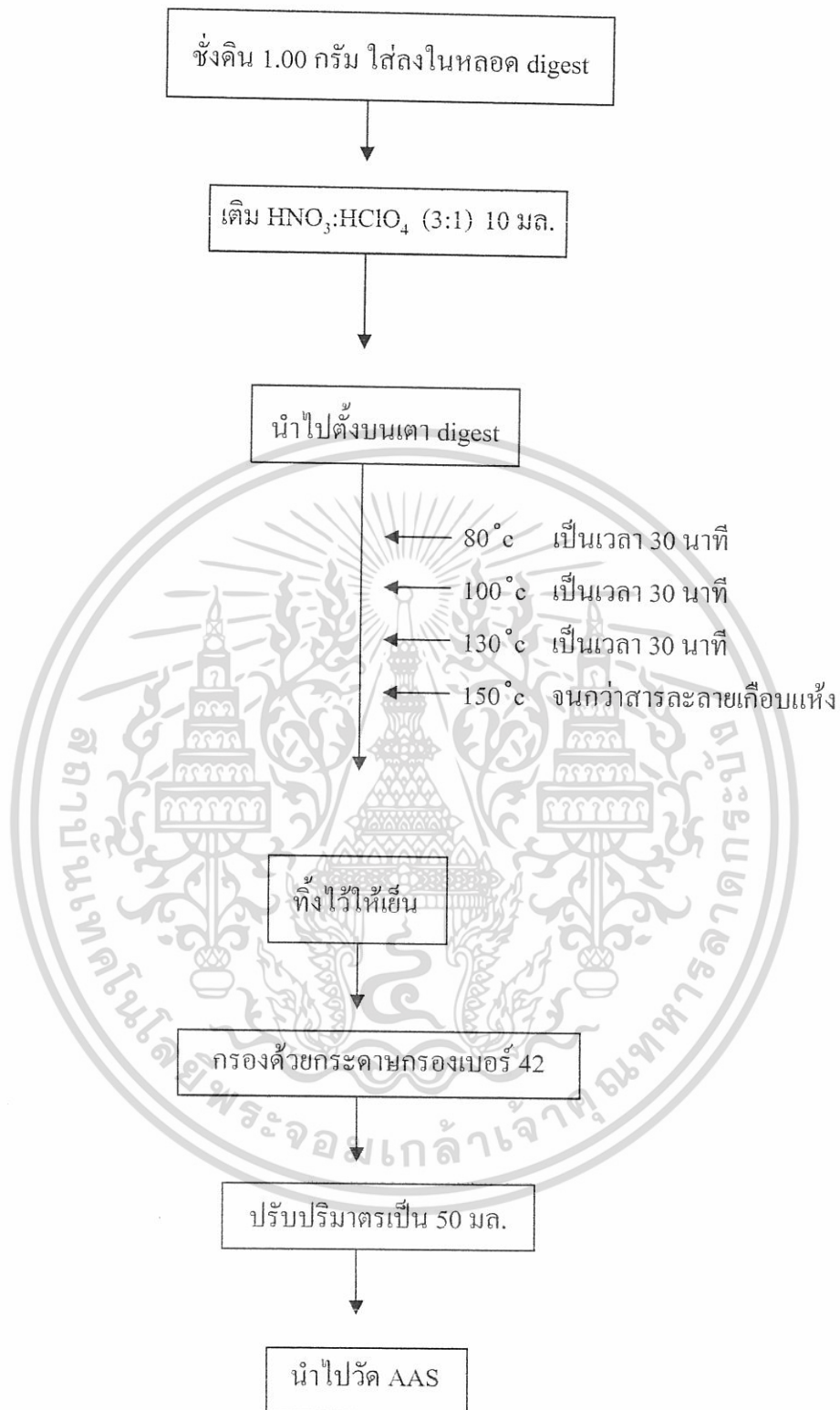
- (1) ชั่งตัวอย่างดิน 1 g ใส่ลงในหลอด digest tube
- (2) เติมกรดผสมระหว่างกรดไนตริกกับกรดเปอร์คลอริก ในสัดส่วน 3:1 , HNO_3 : HClO_4 ในปริมาณ 10 มล.
- (3) นำไปตั้งบนเตา digest โดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 80°C ใช้เวลา 30 นาที เพิ่มเป็น 100°C อีก 30 นาที และเพิ่มเป็น 130°C อีก 30 นาที สุดท้ายเพิ่มอุณหภูมิเป็น 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)

การสกัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้กรด HCl เป็นน้ำยาสกัดที่ความเข้มข้นแตกต่างกันดังนี้ 0.05 N , 0.1 N , 0.2 N , 0.5 N , 1.0 N และ 2.0 N ซึ่งมีวิธีการทำดังนี้ (แสดงไว้ในรูปที่ 4.3)

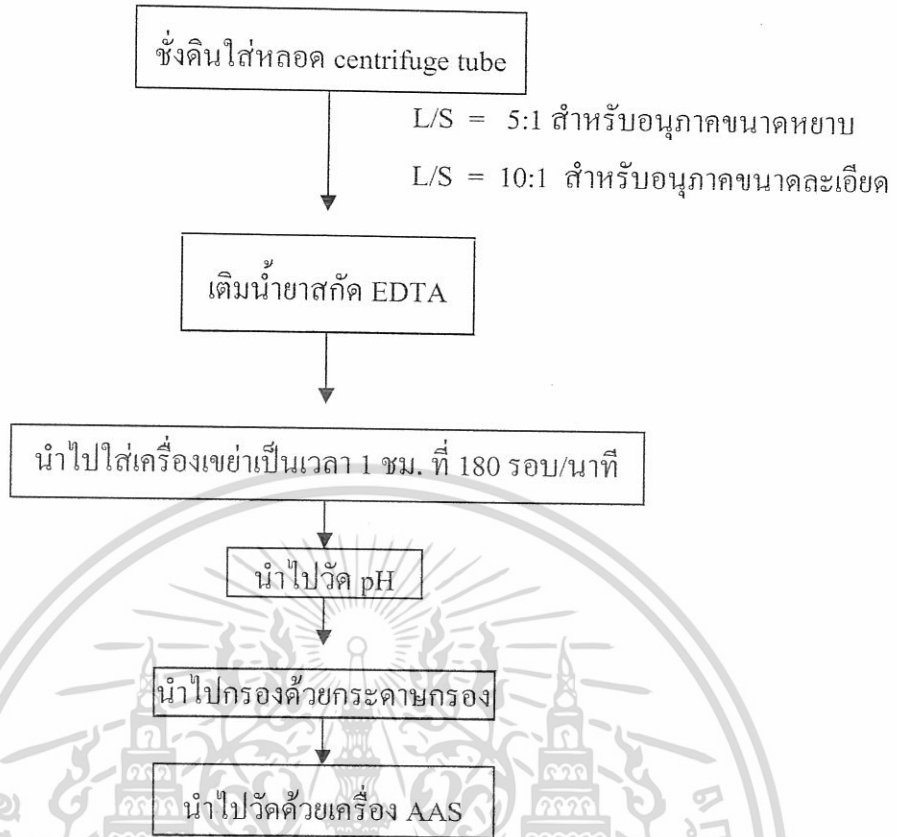
- (1) ทำการบรจุดินลงในหลอด centrifuge ขนาด 50 ml. จำนวน 5.00 g สำหรับดินเนื้อหยาบและ 2.5 g สำหรับดินเนื้อละเอียด เติมน้ำยาสกัดลงไปโดยใช้สัดส่วนที่แตกต่างกันตามขนาดของอนุภาคดังนี้ (แสดงในรูป 4.2)
 - อนุภาคขนาดหยาบ น้อยกว่า 2 mm. และ 0.5 mm. ใช้สัดส่วน L/S = 5:1
 - อนุภาคขนาดละเอียด 0.1 mm. และ น้อยกว่า 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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการสกัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (soil washing)

4.7 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยาสกัด HCl

ทำการเตรียมน้ำยาสกัดโดยเตรียมที่ความเข้มข้น 0.05 N, 0.1 N, 0.2 N, 0.5 N, 1.0 N, 2.0 N โดยการตวง HCl เข้มข้นมาประมาณ 4.17, 8.34, 16.67, 41.67, 83.34, 166.67 ml. ตามลำดับใส่ลงในแต่ละ Volumetric flasks ขนาด 1,000 ml. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml.

4.8 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS 11.5

ปฏิบัติการบน Windows

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) มีค่าต่ำมากถึงต่ำ (0.19 - 0.77%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง (2.70 - 11.38 me/100g soil) ในกรณีของค่าที่แลกเปลี่ยนได้ของ 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 ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) มีค่าต่ำมากถึงค่อนข้างสูง (0.20 - 2.90%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ (1.63 - 9.35 me/100g soil) ในกรณีของค่าที่แลกเปลี่ยนได้ของ 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 ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) มีค่าต่ำมากถึงปานกลาง (0.33 - 2.22%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ (2.01 - 6.21 me/100g soil) ในกรณีของค่าที่แลกเปลี่ยนได้ของ 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 ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) มีค่าต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ (0.18-1.33%) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ (1.74 - 6.36 me/100g soil) ในกรณีของค่าที่แลกเปลี่ยนได้ของ 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 มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึง สูง (0.20 - 1.36 me/100g soil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 1

Dept (cm)	อนุภาค (mm.)	pH ดิน:น้ำ 1:2.5	EC (μ s/cm)	% OM	Exchangeable base (me/100gsoil)				CEC me/100g soil	TotalPb (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na		
					0-15	<2	4.81	182		
	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 (μ s/cm)	% OM	Exchangeable base (me/100gsoil)				CEC me/100g soil	TotalPb (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na		
					0-15	<2	6.16	92		
	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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 3

Dept (cm)	อนุภาค (mm.)	pH ดิน:น้ำ 1:2.5	EC (μ s/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 (μ s/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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

จากผลการทดลองศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพในตารางที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าในตัวอย่างดินทุกจุดนั้นเป็นดินร่วนปนทรายทั้งหมดที่มี clay 15.4 - 17.8% ยกเว้นในดินบนที่จุดที่ 1 ที่เป็นดินร่วนเหนียวปนทรายมี clay 21.3% ทั้งนี้ในตัวอย่างดินทั้งหมดจะมีอนุภาคทรายเป็นจำนวนมาก 60 - 75% ซึ่งเป็นผลสนับสนุนในการใช้เทคนิคการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (soil washing) ผลของการปรับปรุงที่ดินและการกักเก็บจากเครื่องจักรขณะก่อสร้างโรงงาน ทำให้ดินจุดที่ 1 มีค่าความหนาแน่นรวมสูงกว่าในดินจุดอื่นๆ ค่า K (saturated) ที่สูงนั้นก็มีส่วนส่งเสริมในการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (soil washing) และวิธีการชะล้าง (soil flushing) เช่นกัน ในตัวอย่างดินทั้งหมดมีอนุภาคขนาดหยาบ (2.0-0.25 mm) ประมาณ 60 - 70% ทั้งนี้การแยกอนุภาคระหว่างหยาบกับละเอียดนั้น จะมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินได้ดีสำหรับตะกั่วที่จับกับอนุภาคขนาดหยาบ (Dennis et al ; 1995) อย่างไรก็ตามผลของการศึกษาลักษณะคุณสมบัติทางกายภาพของดินพบว่าเนื้อดินของตัวอย่างดินอยู่ในชั้นดินร่วนปนทราย มีค่า K (saturated) ที่สูงและมีอินทรีย์วัตถุต่ำ 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 ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากดินอยู่ใกล้บริเวณโรงงานหล่อหลอมเบตเตอรีเก่า และมักจะพบว่าค่าตะกั่วในดินบน (0-15 cm) มีปริมาณตะกั่วมากกว่าในดินล่าง (15-30 cm) และในดินจุดที่ 4 ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงนั้นมีปริมาณตะกั่วในดินน้อยกว่าจุดอื่นๆ ถือได้ว่าไม่มีการปนเปื้อนตะกั่วในดินเลย อย่างไรก็ตามตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินทุกจุดมีปริมาณไม่เกินค่ามาตรฐานระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินของประเทศเนเธอร์แลนด์ (200 mg kg^{-1})

ตารางที่ 5.5 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

จุด ดิน	Depth	Bulk density (g cm ⁻³)	K (saturated) (cm hr ⁻¹)	Moisture Retention (%)		3- phase analysis (% by Vol.)			Particle Distribution (%)			Textural Class
				pF		Solid	Liquid	Air	Sand	silt	Clay	
				2.5	4.2							
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

5.4 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

(1) ดินจุดที่ 1 (ดินบริเวณโรงงานที่มีการปนเปื้อนอย่างรุนแรง)

(1.1) ดินบน (0-15 cm.)

จากตารางที่ 5.6 จะเห็นว่าอนุภาคดินขนาด < 2 mm. ความเข้มข้นของ HCl ที่สามารถกำจัดตะกั่วออกจากดินได้มากที่สุดคือ 2.0 N (98.8%) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ 1.0 N (97.7%) ในขณะที่อนุภาคขนาด 0.5 mm. และ 0.1 mm. พบว่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl ก็สามารรถที่จะกำจัดตะกั่วออกจากดินได้มากที่สุดที่ 1.0 N (77.1% และ 95.8% ตามลำดับ) ส่วนอนุภาคขนาด 0.1 mm. พบว่า ความเข้มข้นของ HCl นั้นมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุดที่ 2.0 N (98.9%)

จากรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินในแต่ละอนุภาคค่อนข้างใกล้เคียงกัน ยกเว้นในอนุภาคขนาด 0.5 mm. มีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำกว่าอนุภาคอื่น ส่วนอนุภาคขนาด < 0.1 mm. มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดโดยรวมแล้วประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำยาสกัดที่เพิ่มขึ้น

(1.2) ดินล่าง (15-30 cm.)

จากตารางที่ 5.7 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัดในอนุภาคทั้ง 4 อนุภาค ความเข้มข้นของน้ำยาสกัดที่ 2.0 N จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคขนาด 0.5 mm. และ 0.1 mm. มีประสิทธิภาพการกำจัดค่อนข้างสูงที่ 94.9% และ 97.1% ตามลำดับ และอนุภาคขนาด < 0.1 mm. สกัดตะกั่วได้ 70.0% อย่างไรก็ตามที่อนุภาคขนาด < 2 mm. ความสามารถในการกำจัดค่อนข้างต่ำกว่าอนุภาคอื่น (44.3%)

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่า HCl สามารถกำจัดตะกั่วออกจากดินที่อนุภาคขนาด 0.1 mm. และ 0.5 mm. ได้สูงที่สุด ตามด้วยอนุภาคขนาด < 0.1 mm. และ < 2 mm. ทั้งนี้จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในดินแต่ละอนุภาคมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำยา สกัดที่เพิ่มขึ้น

(2) ดินจุดที่ 2 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 100 เมตร)

(2.1) ดินบน (0-15 cm.)

จากตารางที่ 5.8 ที่อนุภาคขนาด < 2 mm ที่ความเข้มข้นของน้ำยาสกัดที่ 0.2 N (88.6%) มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด ส่วนในกรณีของอนุภาคขนาด 0.5 mm., 0.1 mm. และ < 0.1 mm. ความเข้มข้นของน้ำยาสกัดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดตะกั่วออกจากดินคือ 2.0 N (81.3%, 88.3%, 10.0% ตามลำดับ) ทั้งนี้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดของอนุภาคขนาด < 0.1 mm. มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับอนุภาคขนาดอื่นๆ

จากรูปที่ 5.3 พบว่าจากประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินที่อนุภาคขนาด < 2 mm., 0.5 mm และ 0.1 mm. มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของน้ำยาสกัดจาก 0.05 N - 0.2 N โดยอนุภาคขนาด < 2 mm. มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด ทั้งนี้เมื่อความเข้มข้นของ HCl จาก 0.5 N - 2.0 N พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากดินทั้ง 3 ขนาดมีปริมาณใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามอนุภาคขนาด < 0.1 mm. นั้นประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วต่ำที่สุด

(2.2) ดินล่าง (15-30 cm.)

จากตารางที่ 5.9 แสดงให้เห็นว่าที่อนุภาคทั้ง 4 ขนาด คือ < 2 mm., 0.5 mm., 0.1 mm และ < 0.1 mm มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดที่ความเข้มข้น 2.0 N (50.6%, 42.1%, 89.1% และ 33.1% ตามลำดับ) จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำยาที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินที่อนุภาคขนาด 0.1 mm. มีประสิทธิภาพการกำจัดมากที่สุด ตามด้วยอนุภาคขนาด < 2 mm., 0.5 mm. และ < 0.1 mm ตามลำดับ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินของทั้ง 3 อนุภาคมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ดินจุดที่ 3 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร)

(3.1) ดินบน (0-15 cm.)

จากตารางที่ 5.10 ที่อนุภาคขนาด < 2 mm ความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl 2.0 N (25.6%) และ 1.0 N (24.9%) ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินสูงที่สุด รองลงมาด้วย 0.5 N (24.5%) โดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดของอนุภาคขนาด 0.5 mm. ที่ความเข้มข้น 2.0 N (43.0%) และที่ความเข้มข้น 1.0 N (42.7%) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในอนุภาค 0.1 mm. ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด ที่ความเข้มข้น 1.0 N (83.7%) และอนุภาคขนาด < 0.1 mm. ที่ความเข้มข้น 2.0 N (37.9%)

จากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินในอนุภาคขนาด 0.1 mm. มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงที่สุดโดยจะเพิ่มขึ้นในช่วงความเข้มข้น 0.05 N - 1.0 N และลดลงที่ความเข้มข้น 2.0 N อย่างไรก็ตามในอนุภาคขนาด < 2 mm., 0.5 mm. และ < 0.1 mm. นั้นมีประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกันในช่วงแรก (0.05 N - 0.5 N) โดยรวมแล้วทั้ง 3 อนุภาคมีประสิทธิภาพการกำจัดค่อนข้างใกล้เคียงกัน

(3.2) ดินล่าง (15-30 cm.)

จากตารางที่ 5.11 ที่อนุภาคขนาด < 2.0 mm., 0.5 mm. และ 0.1mm ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุดที่ความเข้มข้นของน้ำยาสกัด 2.0 N (28.9%, 47.2%, 55.4% ตามลำดับ) ส่วนในอนุภาคขนาด < 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงสุดที่ความเข้มข้น 2.0N (20.7%) และ 1.0 N (19.8%) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากรูปที่ 5.6 ความสามารถในการกำจัดตะกั่วออกจากดินจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในความเข้มข้นของน้ำยาสกัดช่วงแรก 0.05 N - 0.5 N โดยจะพบว่าอนุภาคขนาด 0.1 mm. มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด ในขณะที่อนุภาคขนาด 0.5 mm., < 2.0 mm. และ < 0.1 mm. นั้นมีประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นช่วงหลัง 1.0 N - 2.0 N ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินที่แตกต่างกัน 2 กลุ่ม ในอนุภาคขนาด 0.1 mm. และ 0.5 mm. มีแนวโน้มใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับในอนุภาคขนาด < 2.0 mm. และ < 0.1 mm.

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

(4.1) ดินบน (0-15 cm.)

จากตารางที่ 5.12 ที่อนุภาคขนาด < 2 mm., 0.5 mm., และ < 0.1 mm. มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินสูงที่สุด ที่ความเข้มข้น 2.0 N (74.5%, 78.6%, 84.3% ตามลำดับ) ยกเว้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของอนุภาคขนาด 0.1 mm. ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุดที่ความเข้มข้น 1.0 N โดยเปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วออกจากดินสูงสุดของแต่ละอนุภาคมีค่าใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินในอนุภาคขนาด 0.1 mm. นั้นมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคขนาดอื่นๆ คือ < 2 mm., 0.5 mm. และ < 0.1 mm. ทั้งนี้โดยรวมแล้วประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินแต่ละอนุภาคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl ที่เพิ่มขึ้น

(4.2) ดินล่าง (15-30 cm.)

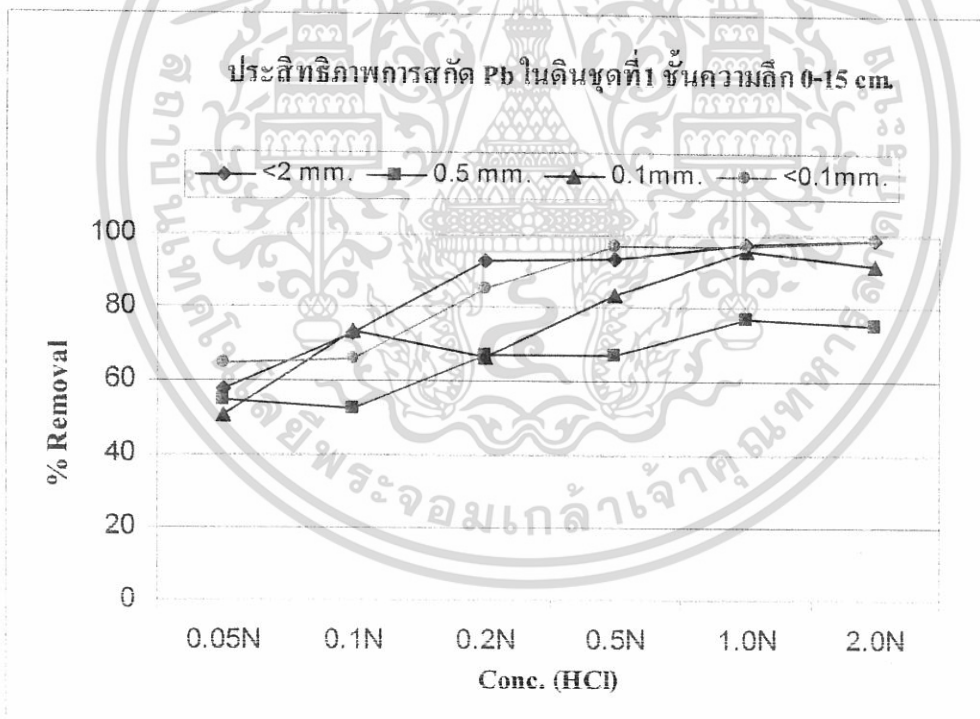
จากตารางที่ 5.13 อนุภาคทั้ง 4 ขนาด คือ < 2 mm., 0.5 mm., 0.1 mm. และ < 0.1 mm. มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดที่ความเข้มข้น 2.0 N (74.6%, 58.0%, 43.1% และ 65.9% ตามลำดับ) ทั้งนี้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 5.8 ที่อนุภาคขนาด < 2 mm. มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคขนาดอื่นที่ความเข้มข้นของน้ำยาสกัดเริ่มต้น (0.05 N - 0.2 N) อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาสกัดจะพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วก็เป็นไปในทางเดียวกับอนุภาคอื่นๆ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากดินรองลงมาเป็นอนุภาคขนาด < 0.1 mm., 0.5 mm. และ 0.1 mm. ตามลำดับ โดยรวมแล้วประสิทธิภาพการกำจัดในแต่ละอนุภาคมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำยาสกัดที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 1 (ดินบน) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 1 ชั้นความลึก 0-15 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	57.9 d	54.8 e	50.5 f	64.9 e
0.1N	72.7 c	52.6 d	73.8 d	65.8 d
0.2N	93.0 b	66.8 c	66.7 e	85.3 c
0.5N	93.8 b	67.0 c	83.6 c	96.9 b
1.0N	97.7 a	77.1 a	95.8 a	97.3 b
2.0N	98.8 a	75.2 b	91.6 b	98.9 a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



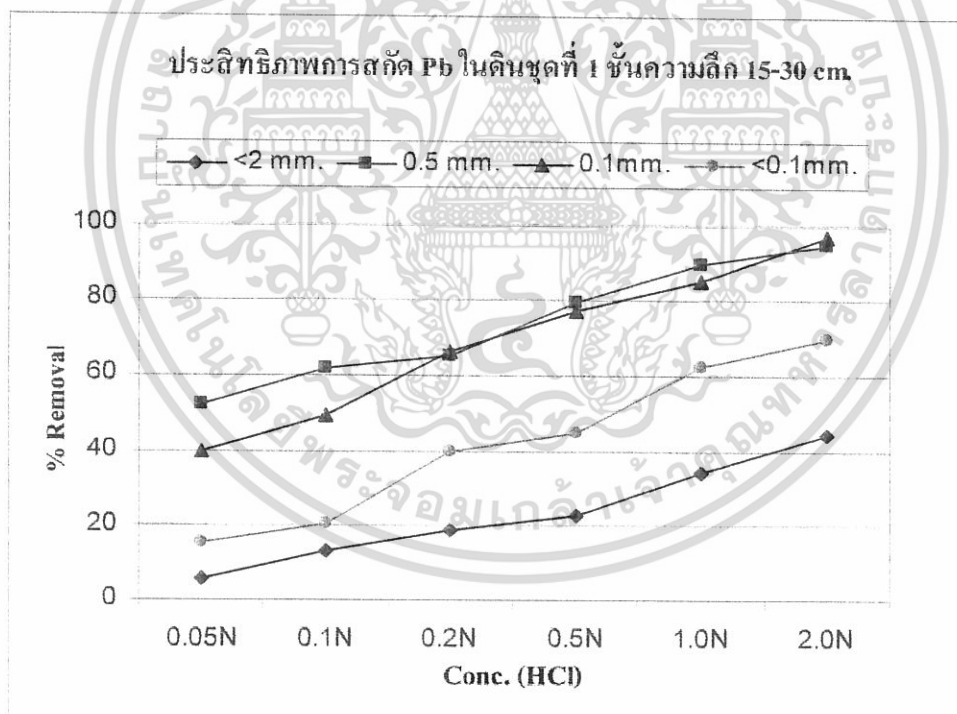
รูปที่ 5.1 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 1 (ดินบน) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 1 (ดินล่าง) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 1 ชั้นความลึก 15-30 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	5.9 f	52.3 f	39.8 f	15.1 f
0.1N	13.0 e	62.1 e	49.2 e	20.5 e
0.2N	18.9 d	65.5 d	66.5 d	40.0 d
0.5N	23.0 c	79.6 c	77.2 c	45.2 c
1.0N	34.4 b	89.9 b	85.3 b	62.8 b
2.0N	44.3 a	94.9 a	97.1 a	70.0 a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสัณภูมิเดียวกัน
ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



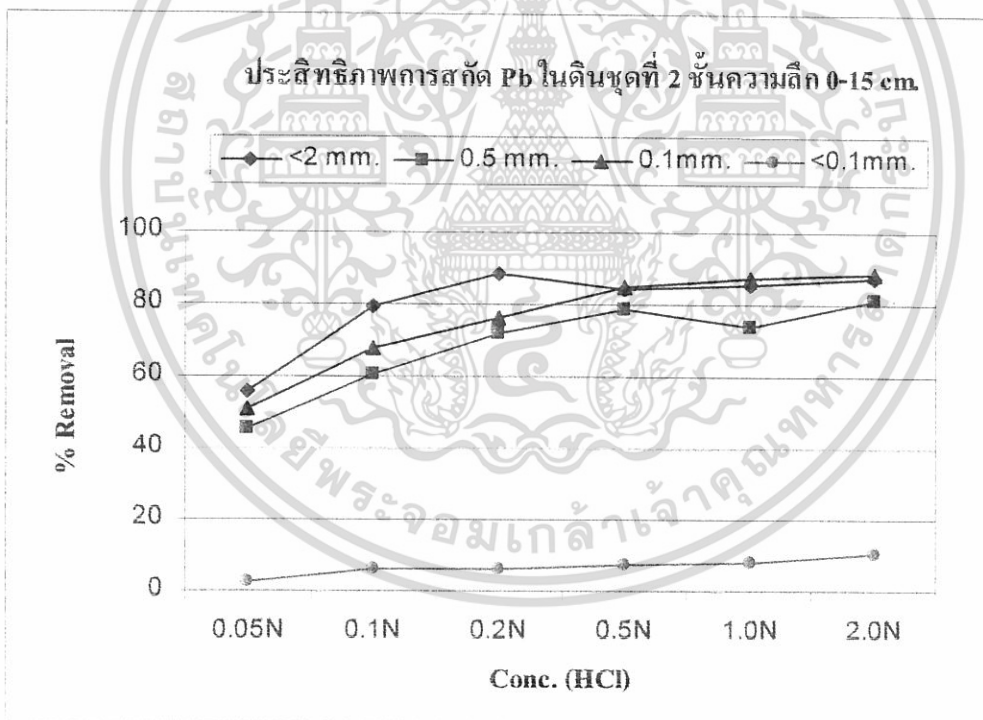
รูปที่ 5.2 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 1 (ดินล่าง) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 2 (ดินบน) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 2 ชั้นความลึก 0-15 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	56.0 f	45.4 f	51.0 f	2.7 e
0.1N	79.7 e	60.8 e	67.6 e	6.1 d
0.2N	88.6 a	72.1 d	76.2 d	6.0 d
0.5N	84.1 d	78.5 b	85.1 c	7.1 c
1.0N	85.8 c	73.7 c	87.4 b	8.0 b
2.0N	87.4 b	81.3 a	88.3 a	10.0 a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



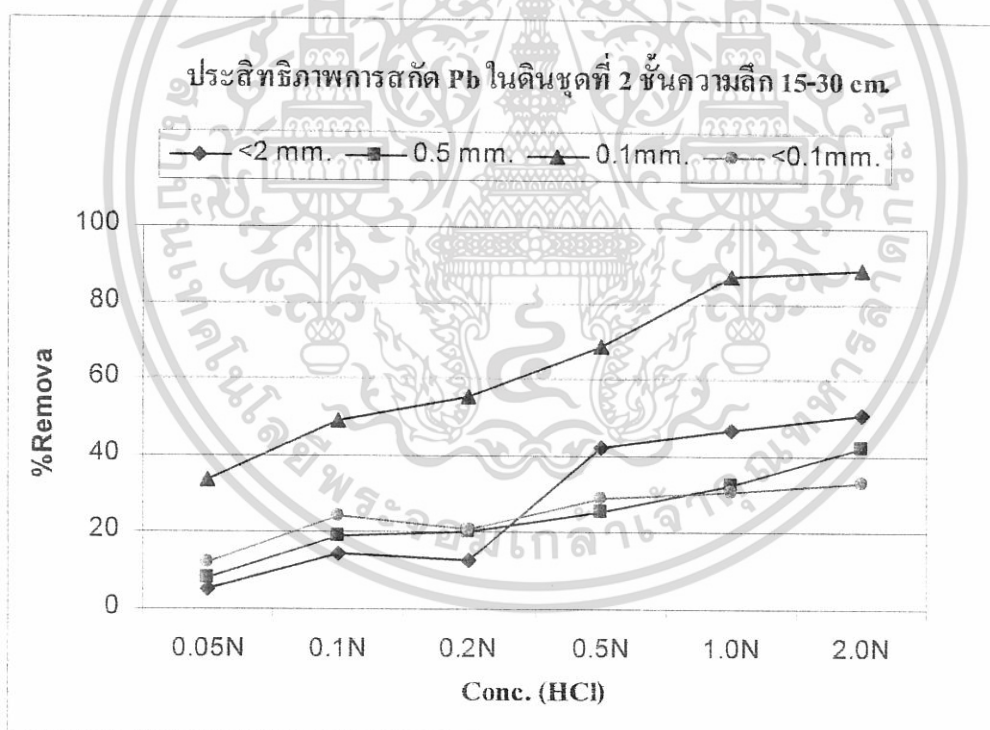
รูปที่ 5.3 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 2 (ดินบน) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 2 (ดินล่าง) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 2 ชั้นความลึก 15-30 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	5.1 f	7.9 f	33.4 f	12.0 f
0.1N	14.2 d	19.0 e	49.0 e	24.0 d
0.2N	12.8 e	20.3 d	55.6 d	20.9 e
0.5N	42.3 c	25.6 c	69.0 c	28.9 c
1.0N	46.9 b	32.1 b	87.0 b	30.5 b
2.0N	50.6 a	42.1 a	89.1 a	33.1 a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



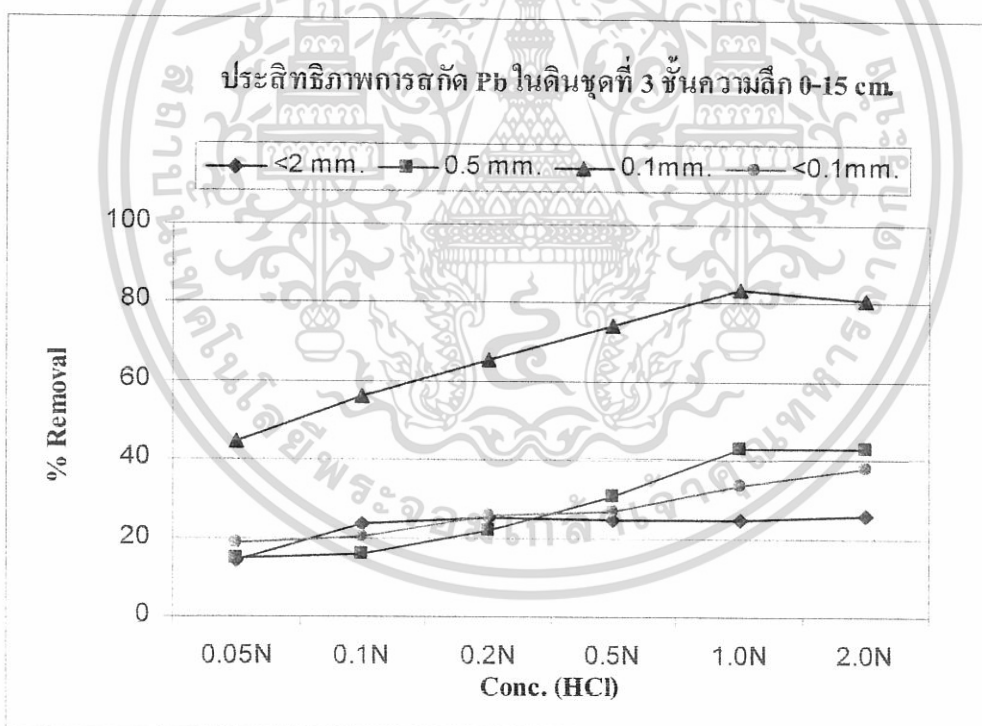
รูปที่ 5.4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 2 (ดินล่าง) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 3 (ดินบน) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 3 ชั้นความลึก 0-15 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	14.4 d	14.9 e	44.8 f	18.6 f
0.1N	23.4 c	16.1 d	56.0 e	20.3 e
0.2N	25.5 b	22.0 c	65.3 d	25.6 d
0.5N	24.5 ab	30.5 b	74.0 c	27.0 c
1.0N	24.9 a	42.7 a	83.7 a	33.6 b
2.0N	25.6 a	43.0 a	81.0 b	37.9 a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



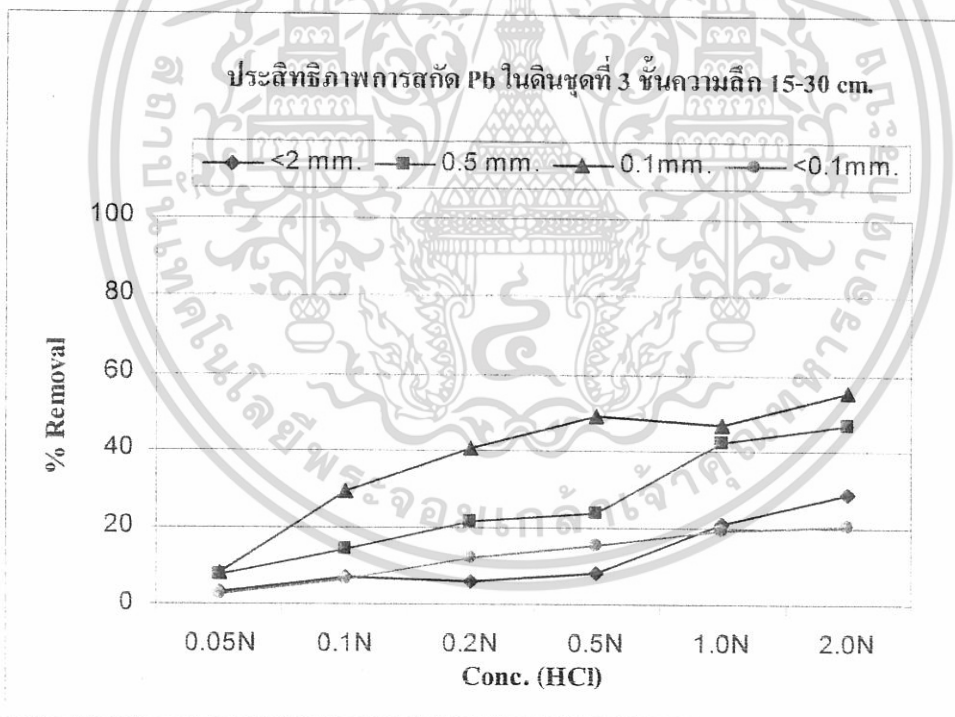
รูปที่ 5.5 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 3 (ดินบน) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 3 (ดินล่าง) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 3 ชั้นความลึก 15-30 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	3.6 e	7.6 f	8.3 f	2.7 e
0.1N	7.4 d	14.7 e	29.5 e	6.6 d
0.2N	6.2 d	22.0 d	41.0 d	12.2 c
0.5N	8.6 c	24.0 c	49.0 c	15.4 b
1.0N	21.5 b	42.2 b	47.1 b	19.8 a
2.0N	28.9 a	47.2 a	55.4 a	20.7 a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



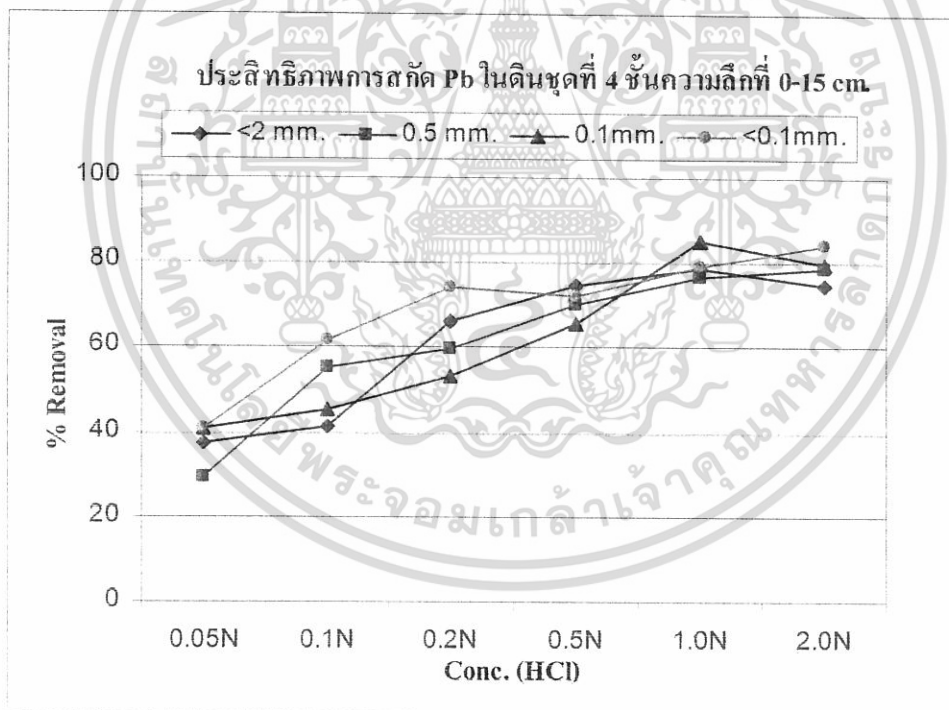
รูปที่ 5.6 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 3 (ดินล่าง) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 4 (ดินบน) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 4 ชั้นความลึก 0-15 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	37.1 e	29.3 f	40.6 f	41.0 f
0.1N	41.3 d	55.1 e	45.5 e	61.6 e
0.2N	65.9 c	59.5 d	53.2 d	74.0 c
0.5N	74.6 b	70.0 c	65.7 c	72.3 d
1.0N	78.7 a	76.5 b	85.0 a	79.0 b
2.0N	74.5 b	78.6 a	79.6 b	84.3 a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน
ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



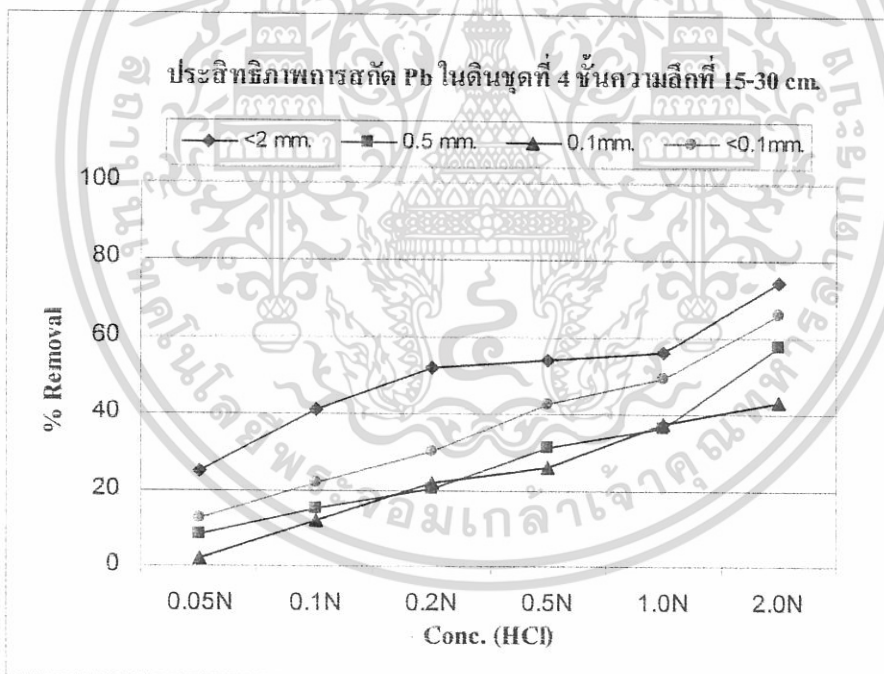
รูปที่ 5.7 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 4 (ดินบน) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 4 (ดินล่าง) โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 4 ชั้นความลึก 15-30 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	25.2 f	8.2 f	2.1 f	12.4 f
0.1N	41.4 e	15.0 e	12.1 e	21.9 e
0.2N	52.2 d	20.3 d	21.9 d	30.0 d
0.5N	54.0 c	31.1 c	25.8 c	42.7 c
1.0N	56.3 b	36.5 b	37.6 b	49.4 b
2.0N	74.6 a	58.0 a	43.1 a	65.9 a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



รูปที่ 5.8 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินจุดที่ 4 (ดินล่าง)โดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลการทดลองค่า pH ภายหลังจากกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัด

(1) ดินจุดที่ 1 (ดินบริเวณโรงงานที่มีการปนเปื้อนอย่างรุนแรง)

(1.1) ดินบน (0-15 cm.)

จากตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.9 พบว่าหลังการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ HCl เป็นน้ำยาสกัดที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ (0.05 N - 2.0 N) ดินในทุกขนาดอนุภาคมีค่า pH อยู่ในช่วง 0.17 - 1.62 ทั้งนี้ความเป็นกรดของดินจะยิ่งเพิ่มความรุนแรงมากขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl ที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ความเข้มข้น 2.0 N นั้นที่ pH มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อย

(1.2) ดินล่าง (15-30 cm.)

จากตารางที่ 5.15 และรูปที่ 5.10 จะเห็นว่าหลังจากทำการกำจัดตะกั่วด้วย HCl แล้วจะพบว่าดินเป็นกรดรุนแรงที่สุดที่อนุภาคขนาด 0.5 mm. ที่ความเข้มข้น 0.5 N (pH = 0.15) โดยทั้ง 4 อนุภาคนั้น pH ที่อยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.05 N - 0.2 N มีแนวโน้มที่จะลดลงตามความเข้มข้นของน้ำยาสกัดที่เพิ่มขึ้นแต่ในอนุภาคขนาด 0.1 mm. และ < 0.1 mm. นั้น pH มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความเข้มข้นของน้ำยาสกัด 0.5 N อย่างไรก็ตามค่า pH ของดินจุดนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.15 - 1.28

(2) ดินจุดที่ 2 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 100 เมตร)

(2.1) ดินบน (0-15 cm.)

จากตารางที่ 5.16 และรูปที่ 5.11 จะเห็นว่าดินมีค่าความเป็นกรดค่อนข้างรุนแรงโดยความเป็นกรดของดินนั้นอยู่ในช่วง 0.09 - 1.07 ซึ่งความเป็นกรดของดินหลังการกำจัดตะกั่วนั้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความรุนแรงตามความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ในความเข้มข้น 1.0 N - 2.0 N ค่า pH ของดินหลังการกำจัดนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อย

(2.2) ดินล่าง (15-30 cm.)

จากตารางที่ 5.17 และรูปที่ 5.12 จากการทดลองพบว่าดินภายหลังจากกำจัดตะกั่วแล้วมีความเป็นกรดรุนแรงโดย pH มีค่าอยู่ในช่วง 0.10 - 1.23 โดยค่า pH หลังการกำจัดนั้นมีแนวโน้มที่จะลดลงตามความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl ที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นในอนุภาคขนาด < 2 mm. ที่ความเข้มข้น 2.0 N ซึ่งค่า pH ของดินหลังการกำจัดมีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคขนาดอื่นๆ ที่ความเข้มข้นเดียวกัน

(3) ดินจุดที่ 3 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร)

(3.1) ดินบน (0-15 cm.)

จากตารางที่ 5.18 และรูปที่ 5.13 พบว่าในทุกขนาดอนุภาคมีแนวโน้มที่ความรุนแรงของกรดในดินจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำยาสกัดที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นในอนุภาคขนาด 0.5 mm. ที่ pH มีค่าค่อนข้างสูงกว่าอนุภาคอื่นในความเข้มข้น 0.1 N (pH = 1.38) และอนุภาคขนาด < 2 mm. ที่ความเข้มข้น 2.0 N (pH = 0.78) ทั้งนี้โดยรวมแล้วจากผลการทดลองพบว่าดินมีความเป็นกรดรุนแรงมากซึ่งค่า pH นั้นมีค่าอยู่ในช่วง 0.03 – 1.38

(3.2) ดินล่าง (15-30 cm.)

จากตารางที่ 5.19 และรูปที่ 5.14 ค่าความเป็นกรดของดินหลังการกำจัดตะกั่วในทุกขนาดอนุภาคนั้น ความเข้มข้นเริ่มต้น – ความเข้มข้นสุดท้าย (0.05 N – 2.0 N) มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน (pH อยู่ในช่วง 0.09 – 0.78) และ pH ของดินก็มีแนวโน้มที่จะลดลงตามความเข้มข้นของน้ำยาสกัดที่เพิ่มขึ้น ยกเว้น ในอนุภาคขนาด 0.5 mm. ที่ความเข้มข้น 0.5 N (pH = 0.52) ส่วนในอนุภาคขนาด < 2.0 mm. และ 0.1 mm. ที่ความเข้มข้น 2.0 N (pH = 0.69 และ 0.64 ตามลำดับ) ดินมีค่าความเป็นกรดสูงกว่าอนุภาคขนาดอื่นอย่างเห็นได้ชัด

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

(4.1) ดินบน (0-15 cm.)

จากตารางที่ 5.20 และรูปที่ 5.15 แสดงให้เห็นว่าในอนุภาคดินทั้ง 4 อนุภาคนั้นมีฤทธิ์ความเป็นกรดรุนแรงมาก โดยค่าความเป็นกรดของดินภายหลังการกำจัดตะกั่วออกจากดินนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 – 1.28 ทั้งนี้ความเป็นกรดของดินจะค่อยๆ เพิ่มความรุนแรงมากขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl ที่เพิ่มขึ้น

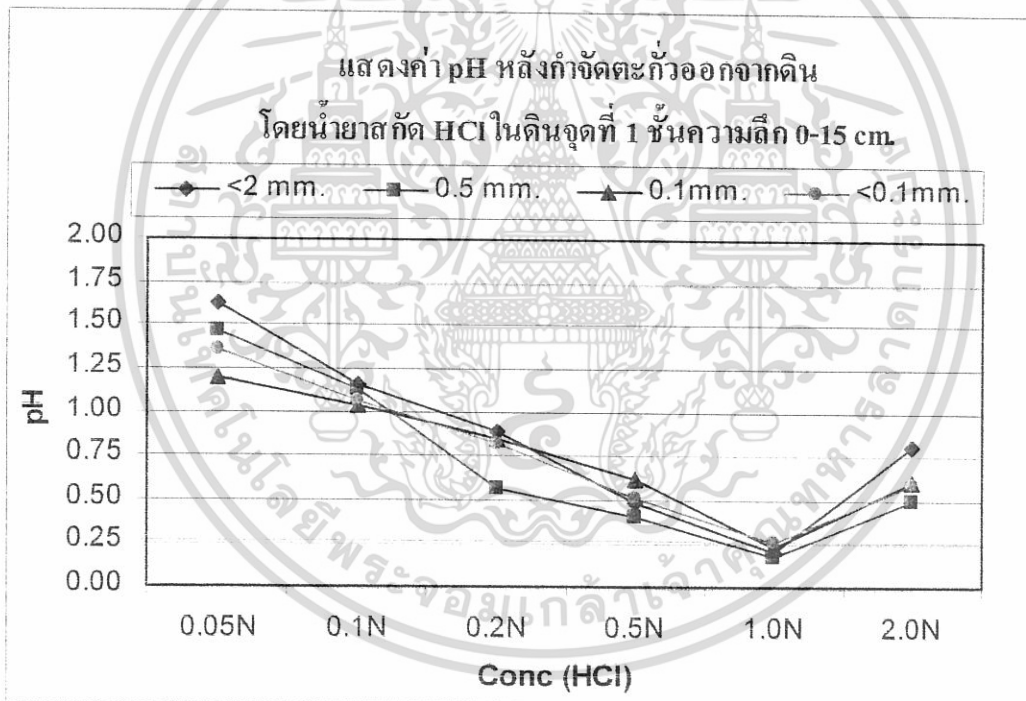
(4.2) ดินล่าง (15-30 cm.)

จากตารางที่ 5.21 และรูปที่ 5.16 ที่อนุภาคขนาด < 2 mm. และ < 0.1 mm. pH ของดินมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับในอนุภาคขนาด 0.5 mm. และ 0.1 mm. ที่ pH มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดย pH ของดินจุดนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.18 – 1.36 โดยรวมแล้วค่าความเป็นกรดของดินหลังการกำจัดตะกั่วออกจากดินในแต่ละความเข้มข้นมีแนวโน้มที่จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำยาสกัดที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.14 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 1 (ดินบน)

ดินจุดที่ 1 ชั้นความลึก 0-15 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	1.62	1.46	1.20	1.35
0.1N	1.15	1.13	1.04	1.06
0.2N	0.88	0.56	0.85	0.82
0.5N	0.48	0.40	0.62	0.51
1.0N	0.20	0.17	0.23	0.26
2.0N	0.80	0.49	0.60	0.59

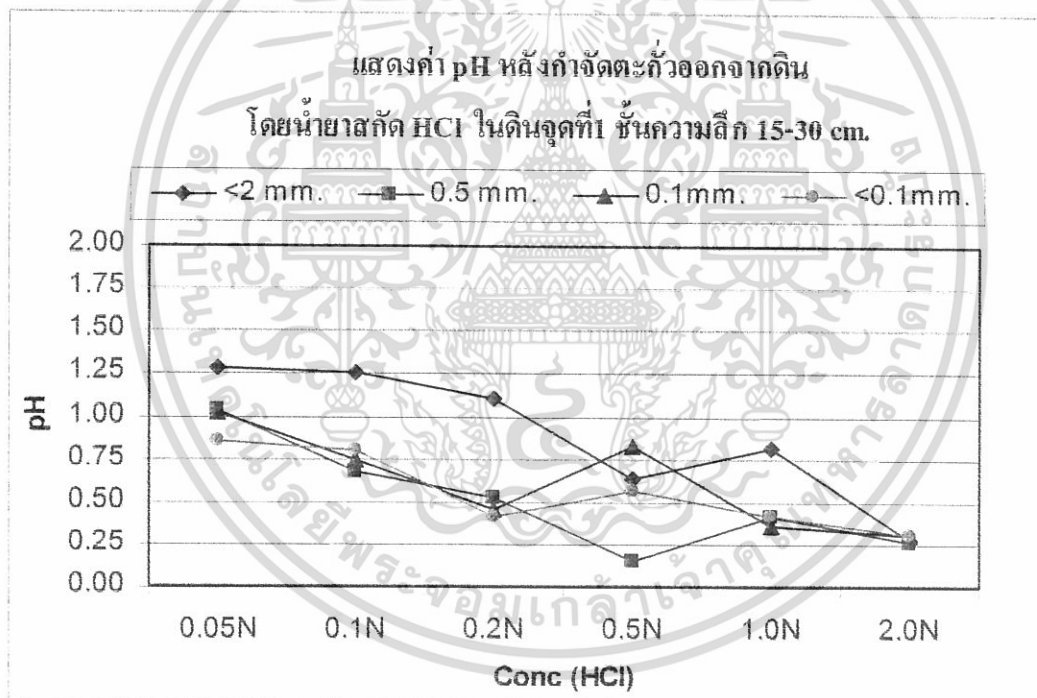


รูปที่ 5.9 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 1 (ดินบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.15 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วโดยใช้ไฮยาสกัต HCl ในดินจุดที่ 1 (ดินล่าง)

ดินชุดที่ 1 ชั้นความลึก 15-30 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	1.28	1.03	1.02	0.86
0.1N	1.25	0.67	0.75	0.80
0.2N	1.10	0.53	0.45	0.41
0.5N	0.64	0.15	0.83	0.56
1.0N	0.81	0.41	0.36	0.41
2.0N	0.28	0.26	0.31	0.31

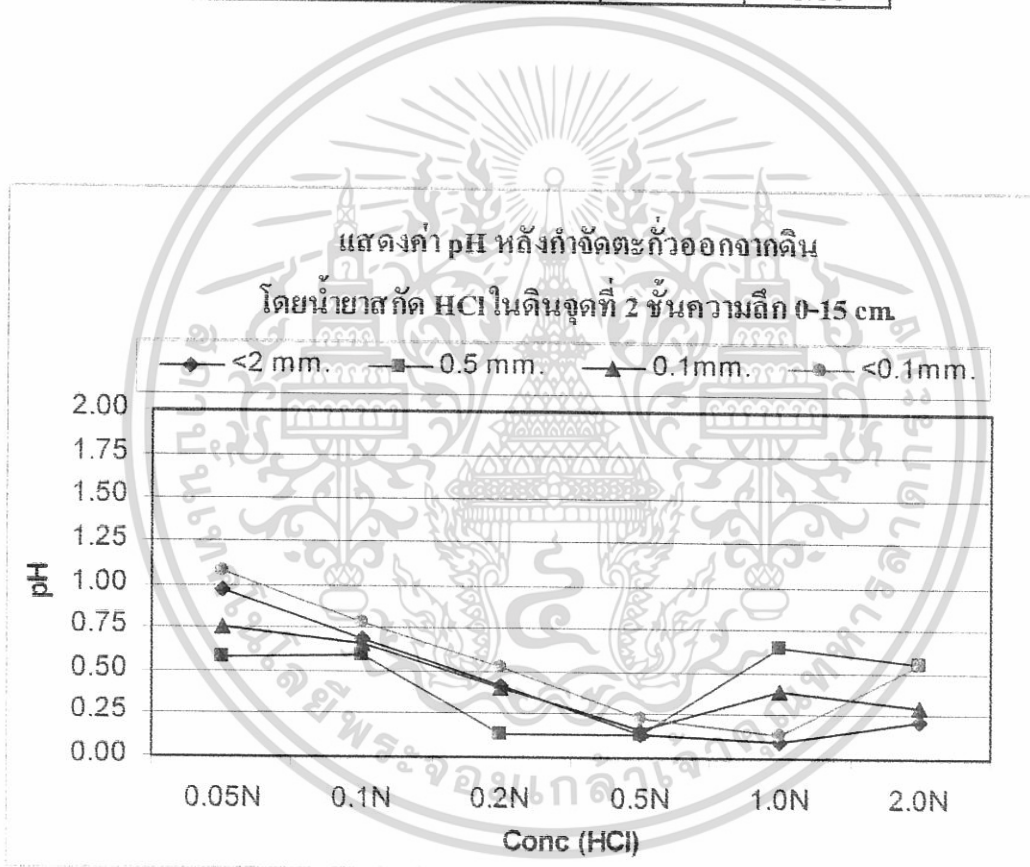


รูปที่ 5.10 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ไฮยาสกัต HCl ในดินจุดที่ 1 (ดินล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 2 (ดินบน)

ดินชุดที่ 2 ชั้นความลึก 0-15 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	0.97	0.58	0.75	1.07
0.1N	0.69	0.59	0.66	0.78
0.2N	0.42	0.13	0.40	0.53
0.5N	0.13	0.14	0.16	0.23
1.0N	0.09	0.64	0.39	0.13
2.0N	0.22	0.55	0.29	0.55

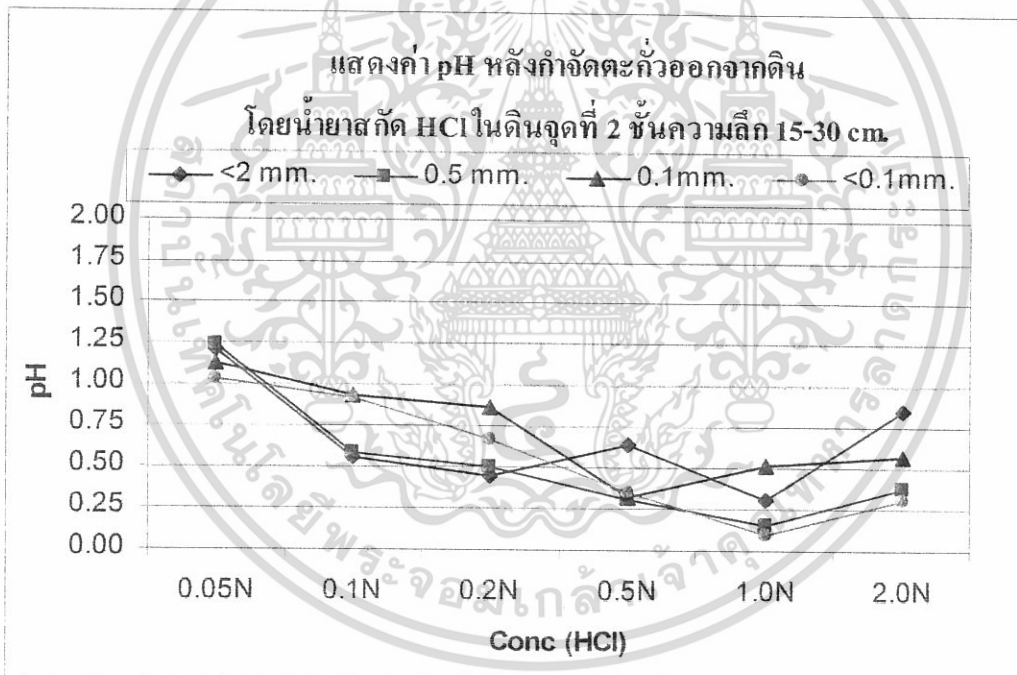


รูปที่ 5.11 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 2 (ดินบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.17 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 2 (ดินล่าง)

ดินชุดที่ 2 ชั้นความลึก 15-30 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	1.21	1.23	1.13	1.03
0.1N	0.55	0.58	0.93	0.92
0.2N	0.45	0.50	0.86	0.67
0.5N	0.64	0.31	0.32	0.35
1.0N	0.30	0.15	0.52	0.10
2.0N	0.85	0.38	0.57	0.30

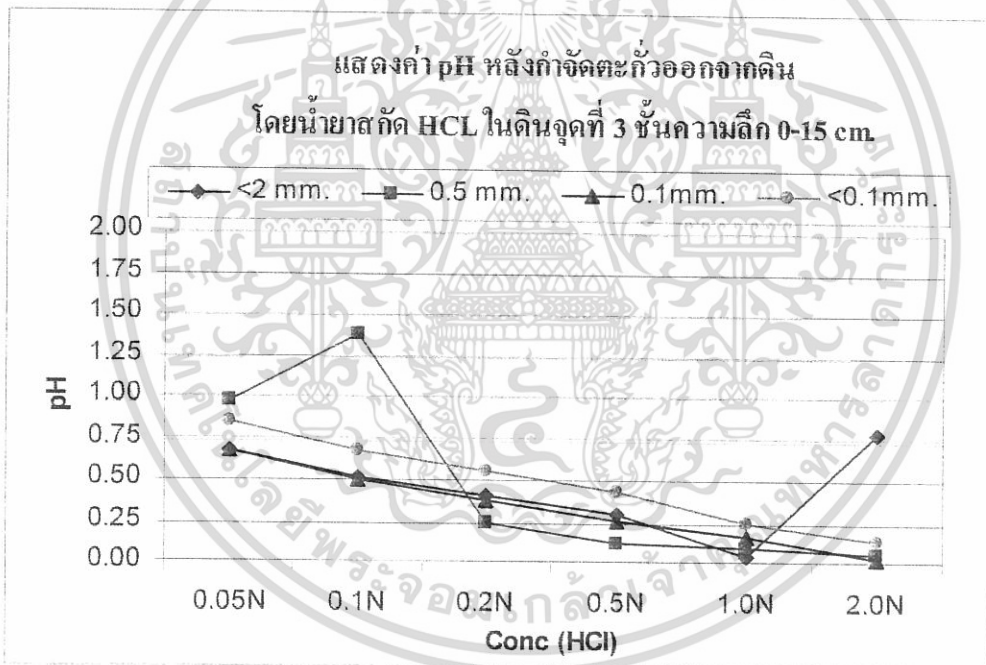


รูปที่ 5.12 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 2 (ดินล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 3 (ดินบน)

ดินชุดที่ 3 ชั้นความลึก 0-15 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	0.68	0.97	0.67	0.85
0.1N	0.52	1.38	0.50	0.68
0.2N	0.41	0.24	0.38	0.56
0.5N	0.30	0.12	0.26	0.43
1.0N	0.04	0.10	0.16	0.25
2.0N	0.78	0.05	0.03	0.13

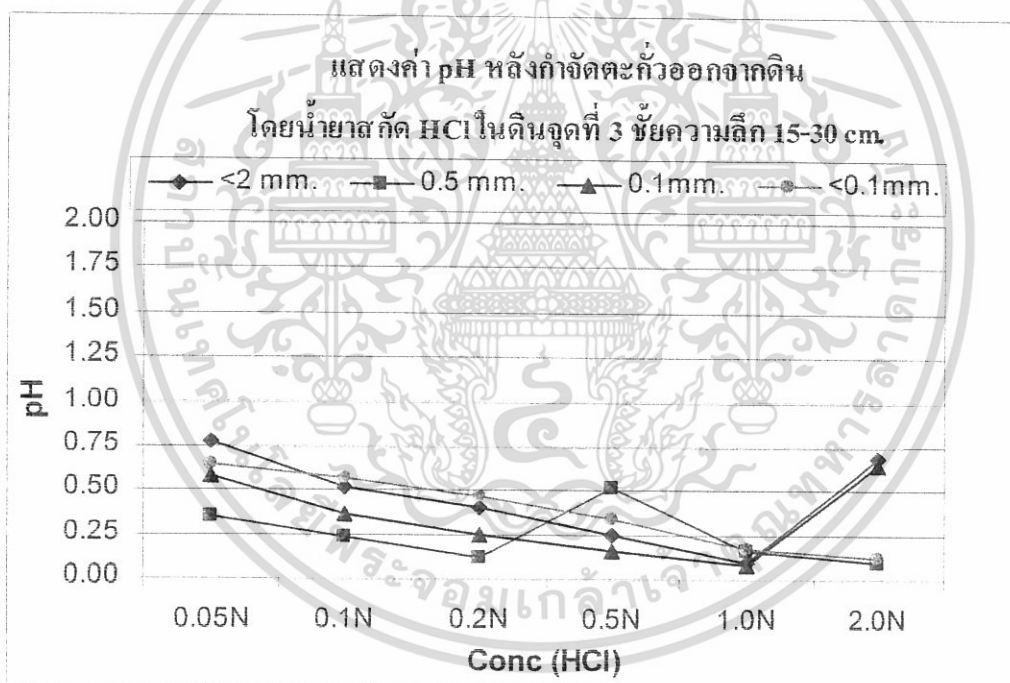


รูปที่ 5.13 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 3 (ดินบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.19 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 3 (ดินล่าง)

ดินชุดที่ 3 ชั้นความลึก 15-30 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	0.78	0.35	0.58	0.65
0.1N	0.52	0.23	0.36	0.57
0.2N	0.40	0.11	0.25	0.47
0.5N	0.24	0.52	0.16	0.33
1.0N	0.09	0.15	0.08	0.17
2.0N	0.69	0.09	0.64	0.12

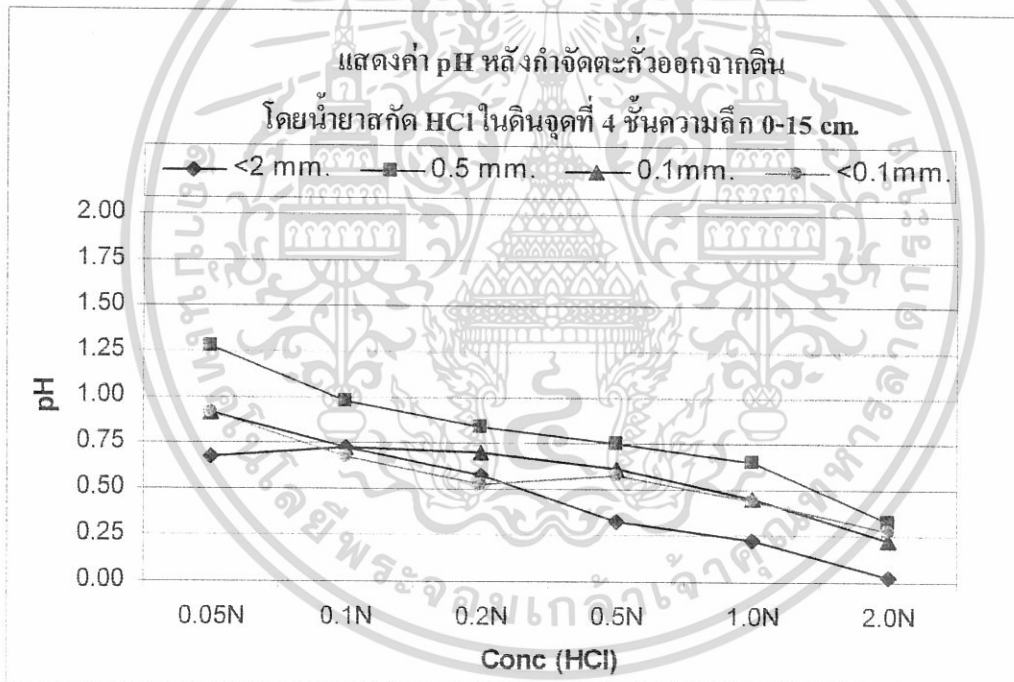


รูปที่ 5.14 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 3 (ดินล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.20 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 4 (ดินบน)

ดินชุดที่ 4 ชั้นความลึก 0-15 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	0.68	1.28	0.91	0.91
0.1N	0.73	0.97	0.72	0.68
0.2N	0.57	0.84	0.70	0.53
0.5N	0.33	0.75	0.61	0.58
1.0N	0.23	0.65	0.45	0.44
2.0N	0.02	0.33	0.22	0.28

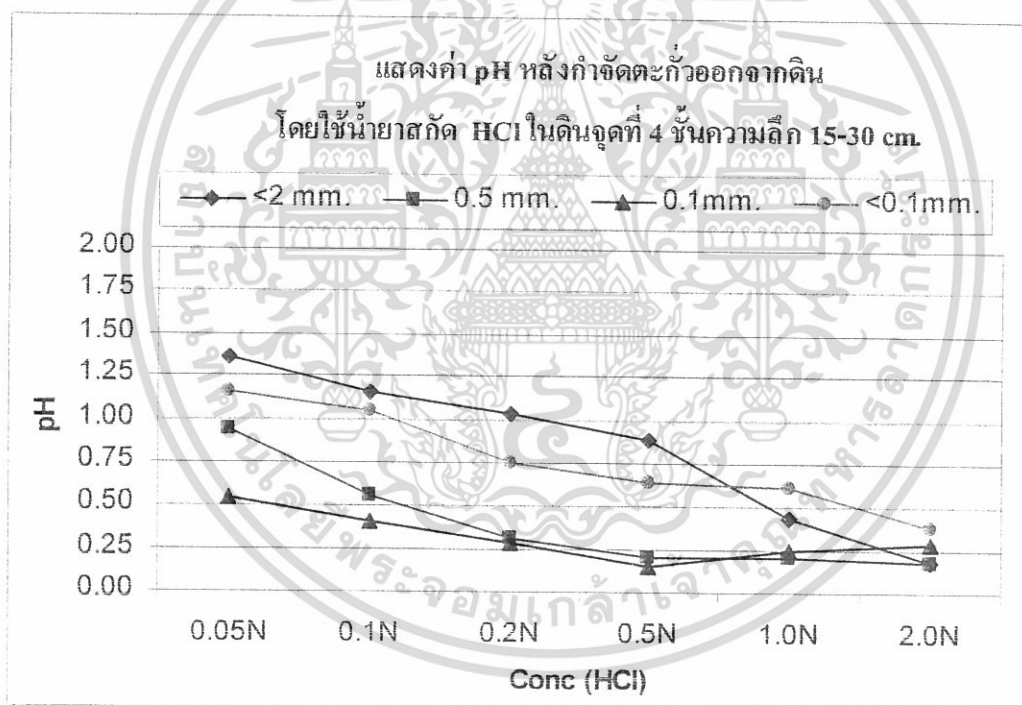


รูปที่ 5.15 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 4 (ดินบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.21 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 4 (ดินล่าง)

ดินชุดที่ 4 ชั้นความลึก 15-30 cm.				
Conc	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm.	0.5 mm.	0.1mm.	<0.1mm.
0.05N	1.36	0.94	0.55	1.16
0.1N	1.16	0.56	0.41	1.05
0.2N	1.03	0.31	0.28	0.75
0.5N	0.89	0.21	0.15	0.64
1.0N	0.43	0.20	0.24	0.61
2.0N	0.18	0.18	0.29	0.38



รูปที่ 5.16 pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HCl ในดินจุดที่ 4 (ดินล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สรุปผลการทดลอง

(1) จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินพบว่า ในดินจุดที่ 3 มีค่าปฏิกิริยาของดิน (pH) เป็นกรดจัดที่สุด (pH 4.61 - 5.06) ตามด้วยดินจุดที่ 1 (pH 4.60 - 5.11), จุดที่ 4 (pH 5.50 - 5.70) และจุดที่ 2 (pH 5.83 - 6.16) ตามลำดับ ส่วนค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินทุกจุดมีค่าค่อนข้างต่ำซึ่งดินจุดที่ 4 มีค่าต่ำที่สุด ในกรณีของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงค่อนข้างสูง ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของดินก็มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ ยกเว้นดินจุดที่ 1 ที่ค่า CEC อยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง ส่งผลให้ค่าของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ของดินแต่ละจุดมีค่าค่อนข้างต่ำ

(2) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน พบว่าดินทุกจุดเป็นดินร่วนปนทรายมีปริมาณ clay 15.4 - 17.8% ยกเว้นดินจุดที่ 1 เป็นดินร่วนเหนียวปนทรายที่มี clay 21.3% ทั้งนี้ 60 - 70% ในตัวอย่างดินทั้งหมดเป็นอนุภาคขนาดหยาบ (2.0 - 0.25 mm.) อย่างไรก็ตามเนื้อดินของตัวอย่างดินทุกจุดอยู่ในชั้นดินร่วนปนทรายมีค่า K (saturated) สูง เหมาะสมแก่การกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด

(3) ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในดินทั้งหมด พบว่าดินจุดที่ 1 มีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในดินสูงสุด (180 mg/kg) รองลงมาที่ดินในจุดที่ 2 (137.5 mg/kg) และดินจุดที่ 3 (37.5 mg/kg) นั้นมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยจุดที่ 4 ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงมีปริมาณตะกั่วเพียง 26.38 mg/kg เท่านั้น

(4) ความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากดินสูงสุดโดยวิธีการล้างดิน (soil washing) ในดินจุดที่ 1 (ดินบริเวณโรงงาน), ดินจุดที่ 3 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร) และดินจุดที่ 4 (ดินอ้างอิง) ที่ความเข้มข้น 1.0 N ในดินบนและ 2.0 N ในดินล่าง ส่วนในกรณีของดินจุดที่ 2 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 100 เมตร) ที่ความเข้มข้น 2.0 N ทั้งในดินบนและดินล่าง

เนื่องจากดินแต่ละจุดได้ทำการแยกอนุภาค 4 ขนาดอนุภาค (< 2.0 mm., 0.5 mm., 0.1 mm., < 0.1 mm.) โดยความสามารถในการกำจัดตะกั่วออกจากดินใน

- ดินจุดที่ 1 ที่อนุภาคขนาด < 0.1 mm. และ < 2.0 mm. มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วได้ดีที่สุดในดินบน (98.9% และ 98.8%) อนุภาคขนาด 0.5 mm. มีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำสุด (75.2%) ทั้งนี้ในดินล่างนั้นอนุภาคขนาด 0.1 mm. มีประสิทธิภาพสูงสุด (97.1%) และต่ำสุดที่อนุภาคขนาด < 2.0 mm. (44.3%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ดร. เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ ของเสียอันตราย (Hazardous wastes) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต พิมพ์ครั้งที่ ๑ พ.ศ. ๒๕๔๖ หน้า ๒๑๑, ๒๔๓, ๕๐๘-๕๑๒, ๕๕๐, ๕๗๐-๕๗๑

ธีระ เกรอด , นิตยา มหาผล , วงศ์พันธ์ ลิ้มปัสวินีย์ มลภาวะอากาศ สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ครั้งที่ ๖ พ.ศ. ๒๕๔๓ หน้า ๔๘-๕๗

พัฒนา มูลพลุกย์ การป้องกันและควบคุมมลพิษ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พิมพ์ครั้งที่ ๖ พ.ศ. ๒๕๔๕ หน้า ๕-๒๖

เอกสารการสอนชุดวิชา ดิน น้ำ และปฏิกิริยา หน่วยที่ ๑-๓ (ฉบับปรับปรุง) ม.สุโขทัยธรรมมาธิราช สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. ๒๕๓๘ หน้า ๓๕๗-๓๖๐

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. ๒๕๓๘. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. หน้า ๒๓๗-๒๔๖ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 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 Waste Contaminated Soils. Marcel Dekker, Inc., New York, pp 745-777.

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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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, Washington, 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Walkley, A. and Black, J.A., 1934. An examination of the degtjiaieff 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/t22-6-11.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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาดอนุภาค (mm)	ซ้้ำที่	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	
			2.1	0.42	0.29	0.35	0.19	
			2.2	0.45	0.30	0.51	0.22	
			3.1	0.84	0.61	0.70	0.42	
	<0.1	3.2	1.09	0.78	0.76	0.41		
		4.1	1.47	0.86	0.71	0.61		
		4.2	1.71	0.96	1.37	0.70		
		15-30	<2	5.1	1.57	2.05	0.65	0.26
				5.2	1.40	1.19	0.93	0.24
6.1	1.00			0.93	0.24	0.12		
6.2	0.84			0.76	0.15	0.10		
7.1	2.90			1.35	0.54	0.22		
<0.1	7.2	1.73	0.89	0.74	0.26			
	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
10.1				0.74	0.27	0.21	0.09	
10.2				0.73	0.23	0.18	0.08	
11.1				1.65	0.49	0.36	0.17	
<0.1	11.2	1.60	0.48	0.58	0.18			
	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
14.1				0.41	0.14	0.18	0.07	
14.2				0.41	0.14	0.12	0.07	
15.1				1.01	0.36	0.67	0.16	
<0.1	15.2	0.99	0.35	0.73	0.21			
	16.1	2.23	0.69	1.34	0.36			
	16.2	1.96	0.63	0.77	0.31			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ร่วร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จุดดิน	ความลึก (cm)	ขนาดอนุภาค (mm)	ซึ่ชาติ	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	
	15-30	<2.0	20.1	0.47	0.29	1.03	0.33
			20.2	0.46	0.29	0.71	0.33
		0.5	21.1	0.17	0.10	0.82	0.12
			21.2	0.08	0.09	0.83	0.11
0.1		22.1	0.05	0.05	0.39	0.07	
	22.2	0.05	0.05	0.23	0.06		
4	0-15	<2.0	23.1	0.07	0.09	0.67	0.13
			23.2	0.06	0.10	0.78	0.13
		0.5	24.1	0.20	0.16	0.75	0.19
			24.2	0.19	0.15	1.46	0.19
		0.1	25.1	0.38	0.14	0.72	0.10
	25.2		0.41	0.14	2.01	0.10	
	15-30	<2.0	26.1	0.24	0.08	1.05	0.05
			26.2	0.19	0.07	0.28	0.05
		0.5	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	0-15	<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	
	15-30	<2.0	32.1	1.37	0.33	0.96	0.20
			32.2	1.51	0.37	1.25	0.17
		0.5	33.1	0.31	0.08	0.18	0.05
			33.2	0.32	0.09	0.23	0.03
0.1		34.1	0.56	0.17	0.47	0.09	
	34.2	0.64	0.19	1.14	0.08		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1B แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดิน

หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb (ppm)	Conc HCl (N)	Pb ที่สกัดได้ (1) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (2) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (เฉลี่ย (ppm))	% Removal (1)	% Removal (2)	% Removal เฉลี่ย	pH ของดิน หลังขยำ
1	1	0-15cm.	<2mm.	1	180.00	0.05	103.00	105.50	104.25	57.22	58.61	57.92	1.62
2	1		<2mm.	1	180.00	0.10	130.50	130.07	130.28	72.50	72.26	72.38	1.15
3	1		<2mm.	1	180.00	0.20	169.00	165.65	167.33	93.89	92.03	92.96	0.88
4	1		<2mm.	1	180.00	0.50	167.99	169.51	168.75	93.33	94.17	93.75	0.48
5	1		<2mm.	1	180.00	1.00	175.50	173.95	174.73	97.50	96.64	97.07	0.20
6	1		<2mm.	1	180.00	2.00	177.80	177.91	177.86	98.78	98.84	98.81	0.80
7	1	0-15cm.	0.5mm.	2	128.00	0.05	69.77	70.45	70.11	54.51	55.04	54.78	1.46
8	1		0.5mm.	2	128.00	0.10	66.76	67.92	67.34	52.16	53.06	52.61	1.13
9	1		0.5mm.	2	128.00	0.20	86.34	84.71	85.52	67.45	66.18	66.82	0.56
10	1		0.5mm.	2	128.00	0.50	85.84	85.67	85.75	67.06	66.93	67.00	0.40
11	1		0.5mm.	2	128.00	1.00	98.88	98.38	98.63	77.25	76.86	77.06	0.17
12	1		0.5mm.	2	128.00	2.00	96.37	96.13	96.25	75.29	75.10	75.20	0.49
13	1	0-15cm.	0.1mm.	3	290.00	0.05	147.96	145.00	146.48	51.02	50.00	50.51	1.20
14	1		0.1mm.	3	290.00	0.10	214.98	212.98	213.98	74.13	73.44	73.79	1.04
15	1		0.1mm.	3	290.00	0.20	193.08	193.98	193.53	66.58	66.89	66.74	0.85
16	1		0.1mm.	3	290.00	0.50	242.61	241.98	242.30	83.66	83.44	83.55	0.62
17	1		0.1mm.	3	290.00	1.00	278.49	276.98	277.73	96.03	95.51	95.77	0.23
18	1		0.1mm.	3	290.00	2.00	266.45	264.97	265.71	91.88	91.37	91.63	0.60

ตารางที่ 1 B แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดิน
 หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb (ppm)	Conc HCl (N)	Pb ที่สกัดได้ (1) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (2) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (ppm)	% Removal (1)	% Removal (2)	% Removalเฉลี่ย	pH ของดินหลังเขย่า
19	1	0-15cm.	<0.1mm	4	330.00	0.05	214.01	214.53	214.27	64.85	65.01	64.93	1.35
20			<0.1mm	4	330.00	0.10	215.99	218.03	217.01	65.45	66.07	65.76	1.06
21			<0.1mm	4	330.00	0.20	281.00	281.89	281.44	85.15	85.42	85.29	0.82
22			<0.1mm	4	330.00	0.50	319.01	320.56	319.79	96.67	97.14	96.91	0.51
23			<0.1mm	4	330.00	1.00	322.01	320.46	321.24	97.58	97.11	97.35	0.26
24			<0.1mm	4	330.00	2.00	327.00	325.84	326.42	99.09	98.74	98.92	0.59
25	1	15-30cm.	<2mm.	5	8.75	0.05	0.50	0.53	0.52	5.71	6.09	5.90	1.28
26			<2mm.	5	8.75	0.10	1.13	1.15	1.14	12.86	13.18	13.02	1.25
27			<2mm.	5	8.75	0.20	1.62	1.69	1.66	18.57	19.26	18.92	1.10
28			<2mm.	5	8.75	0.50	2.00	2.02	2.01	22.86	23.08	22.97	0.64
29			<2mm.	5	8.75	1.00	3.00	3.01	3.01	34.29	34.43	34.36	0.81
30			<2mm.	5	8.75	2.00	3.86	3.89	3.87	44.06	44.51	44.29	0.28
31	1	15-30cm.	0.5mm.	6	5.00	0.05	2.60	2.63	2.62	52.00	52.64	52.32	1.03
32			0.5mm.	6	5.00	0.10	3.10	3.11	3.11	62.00	62.22	62.11	0.67
33			0.5mm.	6	5.00	0.20	3.25	3.30	3.28	65.00	66.01	65.51	0.53
34			0.5mm.	6	5.00	0.50	3.95	4.01	3.98	79.00	80.11	79.56	0.15
35			0.5mm.	6	5.00	1.00	4.75	4.74	4.75	95.00	94.86	94.93	0.41
36			0.5mm.	6	5.00	2.00	4.50	4.49	4.49	90.00	89.79	89.90	0.26

ตารางที่ 1 B แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดิน

หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb (ppm)	Conc HCl (N)	Pb ที่สกัดได้ (1) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (2) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (ppm)	% Removal (1)	% Removal (2)	% Removal เฉลี่ย	pH ของดิน หลังขยำ
37	1	15-30cm.	0.1mm.	7	6.25	0.05	2.50	2.48	2.49	40.00	39.67	39.84	1.02
38			0.1mm.	7	6.25	0.10	3.06	3.09	3.08	49.00	49.43	49.22	0.75
39			0.1mm.	7	6.25	0.20	4.15	4.17	4.16	66.40	66.67	66.54	0.45
40			0.1mm.	7	6.25	0.50	4.81	4.84	4.83	77.00	77.48	77.24	0.83
41			0.1mm.	7	6.25	1.00	5.31	5.35	5.33	85.00	85.60	85.30	0.36
42			0.1mm.	7	6.25	2.00	6.06	6.07	6.07	97.00	97.13	97.07	0.31
43	1	15-30cm.	<0.1mm	8	20.00	0.05	8.00	8.01	8.00	40.00	40.03	40.02	0.86
44			<0.1mm	8	20.00	0.10	12.50	12.60	12.55	62.50	63.00	62.75	0.80
45			<0.1mm	8	20.00	0.20	4.00	4.20	4.10	20.00	21.02	20.51	0.41
46			<0.1mm	8	20.00	0.50	3.00	3.05	3.03	15.00	15.26	15.13	0.56
47			<0.1mm	8	20.00	1.00	9.00	9.06	9.03	45.00	45.31	45.16	0.41
48			<0.1mm	8	20.00	2.00	14.00	14.02	14.01	70.00	70.09	70.05	0.31
49	2	0-15 cm.	<2mm.	9	163.75	0.05	91.50	91.75	91.63	55.88	56.03	55.96	0.97
50			<2mm.	9	163.75	0.10	130.00	131.00	130.50	79.39	80.00	79.70	0.69
51			<2mm.	9	163.75	0.20	145.25	144.98	145.12	88.70	88.54	88.62	0.42
52			<2mm.	9	163.75	0.50	137.26	138.09	137.67	83.82	84.33	84.08	0.13
53			<2mm.	9	163.75	1.00	140.50	140.35	140.42	85.80	85.71	85.76	0.09
54			<2mm.	9	163.75	2.00	143.25	142.97	143.11	87.48	87.31	87.40	0.22

ตารางที่ B แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดิน
หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละชุด

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb (ppm)	Conc HCl (N)	Pb ที่สกัดได้ (1) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (2) (ppm)	Pb ที่สกัดได้เฉลี่ย (ppm)	% Removal (1)	% Removal (2)	% Removal เฉลี่ย	pH ของดิน หลังขยำ
55	2	0-15 cm.	0.5mm.	10	85.50	0.05	38.50	39.20	38.85	45.03	45.85	45.44	0.58
56			0.5mm.	10	85.50	0.10	51.75	52.19	51.97	60.53	61.04	60.79	0.59
57			0.5mm.	10	85.50	0.20	61.75	61.56	61.65	72.22	72.00	72.11	0.13
58			0.5mm.	10	85.50	0.50	67.00	67.24	67.12	78.36	78.64	78.50	0.14
59			0.5mm.	10	85.50	1.00	62.75	63.35	63.05	73.39	74.09	73.74	0.64
60			0.5mm.	10	85.50	2.00	69.50	69.56	69.53	81.29	81.36	81.33	0.55
61	2	0-15 cm.	0.1mm.	11	176.75	0.05	90.00	90.14	90.07	50.92	51.00	50.96	0.75
62			0.1mm.	11	176.75	0.10	119.50	119.45	119.47	67.61	67.58	67.60	0.66
63			0.1mm.	11	176.75	0.20	135.00	134.33	134.67	76.38	76.00	76.19	0.40
64			0.1mm.	11	176.75	0.50	150.50	150.26	150.38	85.15	85.01	85.08	0.16
65			0.1mm.	11	176.75	1.00	154.44	154.55	154.50	87.38	87.44	87.41	0.39
66			0.1mm.	11	176.75	2.00	156.00	156.14	156.07	88.26	88.34	88.30	0.29
67	2	0-15 cm.	<0.1mm	12	331.50	0.05	7.99	9.95	8.97	2.41	3.00	2.71	1.07
68			<0.1mm	12	331.50	0.10	20.49	19.89	20.19	6.18	6.00	6.09	0.78
69			<0.1mm	12	331.50	0.20	18.99	20.45	19.72	5.73	6.17	5.95	0.53
70			<0.1mm	12	331.50	0.50	23.01	24.00	23.50	6.94	7.24	7.09	0.23
71			<0.1mm	12	331.50	1.00	25.99	27.15	26.57	7.84	8.19	8.02	0.13
72			<0.1mm	12	331.50	2.00	32.98	33.42	33.20	9.95	10.08	10.02	0.55

ตารางที่ 1 B แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดิน

หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน order	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb (ppm)	Cone HCl (N)	Pb ที่สกัดได้ (1) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (2) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ เฉลี่ย (ppm)	% Removal (1)	% Removal (2)	% Removal เฉลี่ย	pH ของดิน หลังขยำ
73	2	<2mm.	13	33.50	0.05	1.75	1.70	1.72	5.22	5.06	5.14	1.21
74		<2mm.	13	33.50	0.10	4.75	4.74	4.75	14.18	14.15	14.17	0.55
75		<2mm.	13	33.50	0.20	4.25	4.32	4.29	12.69	12.91	12.80	0.45
76		<2mm.	13	33.50	0.50	14.25	14.08	14.17	42.54	42.03	42.29	0.64
77		<2mm.	13	33.50	1.00	15.75	15.70	15.73	47.01	46.88	46.95	0.30
78		<2mm.	13	33.50	2.00	16.75	17.16	16.96	50.00	51.23	50.62	0.85
79	2	0.5mm.	14	22.50	0.05	1.75	1.80	1.78	7.78	8.01	7.90	1.23
80		0.5mm.	14	22.50	0.10	4.25	4.31	4.28	18.89	19.14	19.02	0.58
81		0.5mm.	14	22.50	0.20	4.50	4.64	4.57	20.00	20.62	20.31	0.50
82		0.5mm.	14	22.50	0.50	5.75	5.75	5.75	25.56	25.54	25.55	0.31
83		0.5mm.	14	22.50	1.00	7.25	7.20	7.22	32.22	32.00	32.11	0.15
84		0.5mm.	14	22.50	2.00	9.50	9.43	9.46	42.22	41.89	42.06	0.38
85	2	15-30cm.	15	22.50	0.05	7.50	7.53	7.51	33.33	33.46	33.40	1.13
86		0.1mm.	15	22.50	0.10	11.00	11.03	11.02	48.89	49.03	48.96	0.93
87		0.1mm.	15	22.50	0.20	12.50	12.52	12.51	55.56	55.64	55.60	0.86
88		0.1mm.	15	22.50	0.50	15.50	15.55	15.53	68.89	69.12	69.01	0.32
89		0.1mm.	15	22.50	1.00	19.50	19.65	19.57	86.67	87.32	87.00	0.52
90		0.1mm.	15	22.50	2.00	20.00	20.08	20.04	88.89	89.23	89.06	0.57

ตารางที่ B แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดิน

หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน order	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb (ppm)	Conc HCl (N)	Pb ที่สกัดได้ (1) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (2) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ เฉลี่ย (ppm)	% Removal (1)	% Removal (2)	% Removal เฉลี่ย	pH ของดิน หลังขยำ
91	2	<0.1mm	16	84.00	0.05	10.00	10.11	10.05	11.90	12.04	11.97	1.03
92		<0.1mm	16	84.00	0.10	20.00	20.34	20.17	23.81	24.22	24.02	0.92
93		<0.1mm	16	84.00	0.20	17.50	17.64	17.57	20.83	21.00	20.92	0.67
94		<0.1mm	16	84.00	0.50	24.00	24.61	24.31	28.57	29.30	28.94	0.35
95		<0.1mm	16	84.00	1.00	25.50	25.72	25.61	30.36	30.62	30.49	0.10
96		<0.1mm	16	84.00	2.00	27.50	28.07	27.79	32.74	33.42	33.08	0.30
97	3	<2mm.	17	37.50	0.05	5.25	5.55	5.40	14.00	14.81	14.41	0.68
98		<2mm.	17	37.50	0.10	8.75	8.77	8.76	23.33	23.38	23.36	0.52
99		<2mm.	17	37.50	0.20	9.50	9.63	9.56	25.33	25.67	25.50	0.41
100		<2mm.	17	37.50	0.50	9.09	9.31	9.20	24.23	24.83	24.53	0.30
101		<2mm.	17	37.50	1.00	9.25	9.44	9.34	24.67	25.16	24.92	0.04
102		<2mm.	17	37.50	2.00	9.50	9.67	9.59	25.33	25.79	25.56	0.78
103	3	0-15 cm.	18	20.50	0.05	3.00	3.10	3.05	14.63	15.12	14.88	0.97
104		0.5mm.	18	20.50	0.10	3.25	3.34	3.29	15.85	16.27	16.06	1.38
105		0.5mm.	18	20.50	0.20	4.50	4.53	4.51	21.95	22.08	22.02	0.24
106		0.5mm.	18	20.50	0.50	6.25	6.27	6.26	30.49	30.59	30.54	0.12
107		0.5mm.	18	20.50	1.00	8.75	8.77	8.76	42.68	42.76	42.72	0.10
108		0.5mm.	18	20.50	2.00	8.75	8.88	8.82	42.68	43.33	43.01	0.05

ตารางที่ B แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดิน
 หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb (ppm)	Conc HCl (N)	Pb ที่สกัดได้ (1) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (2) (ppm)	Pb ที่สกัดได้เฉลี่ย (ppm)	% Removal (1)	% Removal (2)	% Removalเฉลี่ย	pH ของดินหลังขยำ
109	3	0-15 cm.	0.1mm.	19	11.50	0.05	5.10	5.19	5.15	44.35	45.15	44.75	0.67
110			0.1mm.	19	11.50	0.10	6.40	6.48	6.44	55.65	56.38	56.02	0.50
111			0.1mm.	19	11.50	0.20	7.50	7.52	7.51	65.22	65.37	65.30	0.38
112			0.1mm.	19	11.50	0.50	8.50	8.53	8.52	73.91	74.18	74.05	0.26
113			0.1mm.	19	11.50	1.00	9.60	9.66	9.63	83.48	83.97	83.73	0.16
114			0.1mm.	19	11.50	2.00	9.30	9.34	9.32	80.87	81.21	81.04	0.03
115	3	0-15 cm.	<0.1mm	20	71.00	0.05	13.00	13.38	13.19	18.31	18.85	18.58	0.85
116			<0.1mm	20	71.00	0.10	14.38	14.41	14.40	20.26	20.29	20.28	0.68
117			<0.1mm	20	71.00	0.20	18.05	18.36	18.20	25.42	25.86	25.64	0.56
118			<0.1mm	20	71.00	0.50	19.10	19.21	19.16	26.90	27.06	26.98	0.43
119			<0.1mm	20	71.00	1.00	23.70	23.97	23.83	33.38	33.76	33.57	0.25
120			<0.1mm	20	71.00	2.00	26.70	27.09	26.89	37.61	38.15	37.88	0.13
121	3	15-30cm.	<2mm.	21	24.50	0.05	0.75	1.03	0.89	3.06	4.19	3.63	0.78
122			<2mm.	21	24.50	0.10	1.75	1.87	1.81	7.14	7.62	7.38	0.52
123			<2mm.	21	24.50	0.20	1.50	1.55	1.53	6.12	6.34	6.23	0.40
124			<2mm.	21	24.50	0.50	2.00	2.21	2.10	8.16	9.00	8.58	0.24
125			<2mm.	21	24.50	1.00	5.25	5.28	5.27	21.43	21.57	21.50	0.09
126			<2mm.	21	24.50	2.00	7.00	7.16	7.08	28.57	29.24	28.91	0.69

ตารางที่ 1 B แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดิน
หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

จุดดิน no.	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb (ppm)	Conc HCl (N)	Pb ที่สกัดได้ (1) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (2) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ เฉลี่ย (ppm)	% Removal (1)	% Removal (2)	% Removal เฉลี่ย	pH ของดิน หลังแยก
127	3	0.5mm.	22	13.75	0.05	1.00	1.10	1.05	7.27	8.00	7.64	0.35
128		0.5mm.	22	13.75	0.10	2.00	2.04	2.02	14.55	14.86	14.71	0.23
129		0.5mm.	22	13.75	0.20	3.00	3.04	3.02	21.82	22.14	21.98	0.11
130		0.5mm.	22	13.75	0.50	3.25	3.34	3.29	23.64	24.28	23.96	0.52
131		0.5mm.	22	13.75	1.00	5.75	5.87	5.81	41.82	42.66	42.24	0.15
132		0.5mm.	22	13.75	2.00	6.50	6.47	6.48	47.27	47.05	47.16	0.09
133	3	0.1mm.	23	24.50	0.05	2.00	2.04	2.02	8.16	8.34	8.25	0.58
134		0.1mm.	23	24.50	0.10	7.20	7.26	7.23	29.39	29.62	29.51	0.36
135		0.1mm.	23	24.50	0.20	10.00	10.08	10.04	40.82	41.14	40.98	0.25
136		0.1mm.	23	24.50	0.50	12.00	12.01	12.00	48.98	49.00	48.99	0.16
137		0.1mm.	23	24.50	1.00	11.50	11.56	11.53	46.94	47.20	47.07	0.08
138		0.1mm.	23	24.50	2.00	13.50	13.63	13.57	55.10	55.64	55.37	0.64
139	3	<0.1mm	24	62.50	0.05	1.50	1.83	1.66	2.40	2.92	2.66	0.65
140		<0.1mm	24	62.50	0.10	4.00	4.31	4.15	6.40	6.89	6.65	0.57
141		<0.1mm	24	62.50	0.20	7.81	7.71	7.76	12.50	12.34	12.42	0.47
142		<0.1mm	24	62.50	0.50	9.50	9.76	9.63	15.20	15.62	15.41	0.33
143		<0.1mm	24	62.50	1.00	12.00	12.71	12.35	19.20	20.33	19.77	0.17
144		<0.1mm	24	62.50	2.00	12.50	13.39	12.95	20.00	21.43	20.72	0.12

ตารางที่ 1 B แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดิน หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

order number	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb (ppm)	Conc HCl (N)	Pb ที่สกัดได้ (1) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (2) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (เฉลี่ย) (ppm)	% Removal (1)	% Removal (2)	% Removal เฉลี่ย	pH ของดิน หลังขยำ
145	4	0-15 cm.	<2mm.	25	26.50	0.05	9.75	9.91	9.83	36.79	37.39	37.09	0.68
146				25	26.50	0.10	11.00	10.87	10.93	41.50	41.00	41.25	0.73
147				25	26.50	0.20	17.50	17.45	17.47	66.04	65.84	65.94	0.57
148				25	26.50	0.50	19.75	19.77	19.76	74.53	74.62	74.58	0.33
149				25	26.50	1.00	20.75	20.97	20.86	78.30	79.14	78.72	0.23
150				25	26.50	2.00	19.75	19.74	19.75	74.53	74.50	74.52	0.02
151	4	0-15 cm.	0.5mm.	26	16.37	0.05	4.75	4.83	4.79	29.02	29.53	29.28	1.28
152				26	16.37	0.10	9.00	9.04	9.02	54.98	55.20	55.09	0.97
153				26	16.37	0.20	9.75	9.73	9.74	59.56	59.42	59.49	0.84
154				26	16.37	0.50	11.43	11.48	11.45	69.81	70.12	69.97	0.75
155				26	16.37	1.00	12.50	12.53	12.52	76.36	76.55	76.46	0.65
156				26	16.37	2.00	12.83	12.91	12.87	78.36	78.87	78.62	0.33
157	4	0-15 cm.	0.1mm.	27	19.85	0.05	8.00	8.10	8.05	40.30	40.82	40.56	0.91
158				27	19.85	0.10	9.00	9.07	9.03	45.34	45.68	45.51	0.72
159				27	19.85	0.20	10.50	10.60	10.55	52.90	53.42	53.16	0.70
160				27	19.85	0.50	13.00	13.07	13.03	65.49	65.83	65.66	0.61
161				27	19.85	1.00	16.84	16.89	16.87	84.86	85.09	84.98	0.45
162				27	19.85	2.00	15.71	15.88	15.79	79.14	80.00	79.57	0.22

ตารางที่ 1B แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดิน หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

ลำดับดิน order	จำนวนดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb (ppm)	Conc HCl (N)	Pb ที่สกัดได้ (1) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (2) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ เฉลี่ย (ppm)	% Removal (1)	% Removal (2)	% Removal เฉลี่ย	pH ของดิน หลังขยำ
163	4	0-15 cm.	<0.1mm	28	57.67	0.05	23.50	23.77	23.64	40.75	41.22	40.99	0.91
164			<0.1mm	28	57.67	0.10	35.50	35.52	35.51	61.56	61.59	61.58	0.68
165			<0.1mm	28	57.67	0.20	42.50	42.80	42.65	73.70	74.21	73.96	0.53
166			<0.1mm	28	57.67	0.50	41.59	41.74	41.67	72.12	72.38	72.25	0.58
167			<0.1mm	28	57.67	1.00	45.50	45.64	45.57	78.90	79.14	79.02	0.44
168			<0.1mm	28	57.67	2.00	48.50	48.73	48.62	84.10	84.50	84.30	0.28
169	4	15-30cm.	<2mm.	29	27.90	0.05	7.00	7.08	7.04	25.09	25.36	25.23	1.36
170			<2mm.	29	27.90	0.10	11.50	11.60	11.55	41.22	41.59	41.41	1.16
171			<2mm.	29	27.90	0.20	14.50	14.60	14.55	51.97	52.33	52.15	1.03
172			<2mm.	29	27.90	0.50	15.00	15.11	15.05	53.76	54.15	53.96	0.89
173			<2mm.	29	27.90	1.00	15.61	15.80	15.70	55.94	56.64	56.29	0.43
174			<2mm.	29	27.90	2.00	20.75	20.86	20.81	74.37	74.78	74.58	0.18
175	4	15-30cm.	0.5mm.	30	18.55	0.05	1.50	1.55	1.53	8.09	8.37	8.23	0.94
176			0.5mm.	30	18.55	0.10	2.75	2.80	2.77	14.82	15.09	14.96	0.56
177			0.5mm.	30	18.55	0.20	3.75	3.79	3.77	20.22	20.43	20.33	0.31
178			0.5mm.	30	18.55	0.50	5.75	5.79	5.77	31.00	31.20	31.10	0.21
179			0.5mm.	30	18.55	1.00	6.75	6.78	6.77	36.39	36.56	36.48	0.20
180			0.5mm.	30	18.55	2.00	10.75	10.77	10.76	57.95	58.06	58.01	0.18

ตารางที่ 1B แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดิน

หลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb (ppm)	Cone HCl (N)	Pb ที่สกัดได้ (1) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (2) (ppm)	Pb ที่สกัดได้ (เฉลี่ย (ppm))	% Removal (1)	% Removal (2)	% Removal เฉลี่ย	pH ของดิน หลังขยำ
181	4	15-30cm.	0.1mm.	31	25.30	0.05	0.50	0.56	0.53	1.98	2.20	2.09	0.55
182			0.1mm.	31	25.30	0.10	3.00	3.12	3.06	11.86	12.34	12.10	0.41
183			0.1mm.	31	25.30	0.20	5.50	5.59	5.54	21.74	22.08	21.91	0.28
184			0.1mm.	31	25.30	0.50	6.50	6.56	6.53	25.69	25.93	25.81	0.15
185			0.1mm.	31	25.30	1.00	9.50	9.53	9.51	37.55	37.65	37.60	0.24
186			0.1mm.	31	25.30	2.00	10.89	10.93	10.91	43.04	43.22	43.13	0.29
187	4	15-30cm.	<0.1mm	32	60.07	0.05	7.50	7.41	7.45	12.49	12.33	12.41	1.16
188			<0.1mm	32	60.07	0.10	13.00	13.30	13.15	21.64	22.14	21.89	1.05
189			<0.1mm	32	60.07	0.20	18.00	18.02	18.01	29.97	30.00	29.99	0.75
190			<0.1mm	32	60.07	0.50	25.50	25.83	25.66	42.45	43.00	42.73	0.64
191			<0.1mm	32	60.07	1.00	29.50	29.84	29.67	49.11	49.67	49.39	0.61
192			<0.1mm	32	60.07	2.00	39.50	39.67	39.59	65.76	66.04	65.90	0.38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 1.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2745.74	5	549.15	1025.15	1E-08
Within Groups	3.21	6	0.54		
Total	2748.95	11			

REMOVAL					
Duncan					
HCL	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
0.05N	2	57.92			
0.1N	2		72.73		
0.2N	2			92.96	
0.5N	2			93.75	
1.0N	2				97.67
2.0N	2				98.81
Sig.		1	1	0.322	0.170
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

ตารางที่ 1.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1025.24	5	205.05	845.88	1.86E-08
Within Groups	1.45	6	0.24		
Total	1026.69	11			

REMOVAL						
Duncan						
HCL	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.1N	2	52.61				
0.05N	2		54.78			
0.2N	2			66.82		
0.5N	2			67.00		
2.0N	2				75.20	
1.0N	2					77.06
Sig.		1	1	0.727	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2853.06	5	570.61	3124.51	3.71E-10
Within Groups	1.10	6	0.18		
Total	2854.16	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	50.51					
0.2N	2		66.74				
0.1N	2			73.79			
0.5N	2				83.55		
2.0N	2					91.63	
1.0N	2						95.77
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.						

ตารางที่ 1.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2521.39	5	504.28	5778.59	5.87E-11
Within Groups	0.52	6	0.09		
Total	2521.92	11			

REMOVAL						
Duncan						
HCL	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	64.93				
0.1N	2		65.76			
0.2N	2			85.29		
0.5N	2				96.91	
1.0N	2				97.35	
2.0N	2					98.92
Sig.		1	1	1	0.187	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 2.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1980.90	5	396.18	4785.74	1.03E-10
Within Groups	0.50	6	0.08		
Total	1981.39	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	5.9					
0.1N	2		13.02				
0.2N	2			18.92			
0.5N	2				22.97		
1.0N	2					34.36	
2.0N	2						44.29
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

ตารางที่ 2.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2810.23	5	562.05	2431.44	7.87E-10
Within Groups	1.39	6	0.23		
Total	2811.62	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	52.32					
0.1N	2		62.11				
0.2N	2			65.51			
0.5N	2				79.56		
2.0N	2					89.90	
1.0N	2						94.93
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4738.23	5	947.65	11675.31	7.12E-12
Within Groups	0.49	6	0.08		
Total	4738.72	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	39.84					
0.1N	2		49.22				
0.2N	2			66.54			
0.5N	2				77.24		
1.0N	2					85.3	
2.0N	2						97.07
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.						

ตารางที่ 2.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4828.73	5	965.75	7920.82	2.28E-11
Within Groups	0.73	6	0.12		
Total	4829.46	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.5N	2	15.13					
0.2N	2		20.51				
0.05N	2			40.02			
1.0N	2				45.16		
0.1N	2					62.75	
2.0N	2						70.05
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 3.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1513.20	5	302.64	5062.98	8.73E-11
Within Groups	0.36	6	0.06		
Total	1513.56	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	55.96					
0.1N	2		79.70				
0.5N	2			84.08			
1.0N	2				85.76		
2.0N	2					87.40	
0.2N	2						88.62
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

ตารางที่ 3.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1792.24	5	358.45	2767.58	5.34E-10
Within Groups	0.78	6	0.13		
Total	1793.02	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	45.44					
0.1N	2		60.79				
0.2N	2			72.11			
1.0N	2				73.74		
0.5N	2					78.5	
2.0N	2						81.33
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2123.14	5	424.63	28105.55	5.11E-13
Within Groups	0.09	6	0.02		
Total	2123.23	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	50.96					
0.1N	2		67.60				
0.2N	2			76.19			
0.5N	2				85.08		
1.0N	2					87.41	
2.0N	2						88.3
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.						

ตารางที่ 3.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	59.49	5	11.90	177.70	1.97E-06
Within Groups	0.40	6	0.07		
Total	59.89	11			

REMOVAL						
Duncan						
HCL	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	2.71				
0.2N	2		5.95			
0.1N	2		6.09			
0.5N	2			7.09		
1.0N	2				8.02	
2.0N	2					10.02
Sig.		1	0.608	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 4.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4033.68	5	806.74	5191.35	8.10E-11
Within Groups	0.93	6	0.16		
Total	4034.61	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	5.14					
0.2N	2		12.8				
0.1N	2			14.17			
0.5N	2				42.29		
1.0N	2					46.95	
2.0N	2						50.62
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

ตารางที่ 4.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1381.12	5	276.22	5041.35	8.84E-11
Within Groups	0.33	6	0.05		
Total	1381.45	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	7.90					
0.1N	2		19.02				
0.2N	2			20.31			
0.5N	2				25.55		
1.0N	2					32.11	
2.0N	2						42.06
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4830.18	5	966.04	18287.47	1.85E-12
Within Groups	0.32	6	0.05		
Total	4830.50	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	33.40					
0.1N	2		48.96				
0.2N	2			55.6			
0.5N	2				69.01		
1.0N	2					87.00	
2.0N	2						89.06
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

ตารางที่ 4.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	596.58	5	119.32	1119.02	8.06E-09
Within Groups	0.64	6	0.11		
Total	597.22	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	11.97					
0.2N	2		20.92				
0.1N	2			24.02			
0.5N	2				28.94		
1.0N	2					30.49	
2.0N	2						33.08
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm)

ตารางที่ 5.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	185.60	5	37.12	280.88	5.03E-07
Within Groups	0.79	6	0.13		
Total	186.39	11			

REMOVAL					
Duncan					
HCL	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
0.05N	2	14.405			
0.1N	2		23.355		
0.5N	2			24.53	
1.0N	2			24.92	24.92
0.2N	2				25.5
2.0N	2				25.56
Sig.		1	1	0.330	0.137
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.				

ตารางที่ 5.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1597.37	5	319.47	4394.91	1.33E-10
Within Groups	0.44	6	0.07		
Total	1597.80	11			

REMOVAL						
Duncan						
HCL	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	14.88				
0.1N	2		16.06			
0.2N	2			22.02		
0.5N	2				30.54	
1.0N	2					42.72
2.0N	2					43.01
Sig.		1	1	1	1	0.331
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2287.49	5	457.50	3380.53	2.93E-10
Within Groups	0.81	6	0.14		
Total	2288.30	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	44.75					
0.1N	2		56.02				
0.2N	2			65.30			
0.5N	2				74.05		
2.0N	2					81.04	
1.0N	2						83.73
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

ตารางที่ 5.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	558.74	5	111.75	1414.97	3.99E-09
Within Groups	0.47	6	0.08		
Total	559.21	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	18.58					
0.1N	2		20.28				
0.2N	2			25.64			
0.5N	2				26.98		
1.0N	2					33.57	
2.0N	2						37.88
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 6.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1019.07	5	203.81	895.95	1.57E-08
Within Groups	1.36	6	0.23		
Total	1020.44	11			

REMOVAL						
Duncan						
HCL	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	3.63				
0.2N	2		6.23			
0.1N	2		7.38			
0.5N	2			8.58		
1.0N	2				21.5	
2.0N	2					28.91
Sig.		1	0.052	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

ตารางที่ 6.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2392.37	5	478.47	3029.91	4.07E-10
Within Groups	0.95	6	0.16		
Total	2393.32	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	7.64					
0.1N	2		14.71				
0.2N	2			21.98			
0.5N	2				23.96		
1.0N	2					42.24	
2.0N	2						47.16
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2940.18	5	588.04	12893.16	5.29E-12
Within Groups	0.27	6	0.05		
Total	2940.45	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	8.25					
0.1N	2		29.51				
0.2N	2			40.98			
1.0N	2				47.07		
0.5N	2					48.99	
2.0N	2						55.37
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

ตารางที่ 6.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	518.04	5	103.61	301.45	4.07E-07
Within Groups	2.06	6	0.34		
Total	520.10	11			

REMOVAL						
Duncan						
HCL	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	2.66				
0.1N	2		6.65			
0.2N	2			12.17		
0.5N	2				15.41	
1.0N	2					19.77
2.0N	2					20.72
Sig.		1	1	1	1	0.156
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 7.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3321.40	5	664.28	5798.62	5.81E-11
Within Groups	0.69	6	0.11		
Total	3322.09	11			

REMOVAL						
Duncan						
HCL	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	37.09				
0.1N	2		41.26			
0.2N	2			65.94		
2.0N	2				74.52	
0.5N	2				74.58	
1.0N	2					78.72
Sig.		1	1	1	0.865	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.					

ตารางที่ 7.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3343.62	5	668.72	11139.20	8.20E-12
Within Groups	0.36	6	0.06		
Total	3343.98	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	29.28					
0.1N	2		55.09				
0.2N	2			59.49			
0.5N	2				69.97		
1.0N	2					76.46	
2.0N	2						78.62
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3317.19	5	663.44	5088.69	8.60E-11
Within Groups	0.78	6	0.13		
Total	3317.97	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	40.56					
0.1N	2		45.51				
0.2N	2			53.16			
0.5N	2				65.66		
2.0N	2					79.57	
1.0N	2						84.98
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

ตารางที่ 7.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2417.93	5	483.59	7564.89	2.62E-11
Within Groups	0.38	6	0.06		
Total	2418.31	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	40.99					
0.1N	2		61.58				
0.5N	2			72.25			
0.2N	2				73.96		
1.0N	2					79.02	
2.0N	2						84.30
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 8.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2698.55	5	539.71	5633.71	6.34E-11
Within Groups	0.57	6	0.10		
Total	2699.12	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	25.23					
0.1N	2		41.41				
0.2N	2			52.15			
0.5N	2				53.96		
1.0N	2					56.29	
2.0N	2						74.58
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

ตารางที่ 8.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3202.94	5	640.59	27811.31	5.27E-13
Within Groups	0.14	6	0.02		
Total	3203.07	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	8.23					
0.1N	2		14.96				
0.2N	2			20.33			
0.5N	2				31.1		
1.0N	2					36.48	
2.0N	2						58.01
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2359.82	5	471.96	11455.45	7.54E-12
Within Groups	0.25	6	0.04		
Total	2360.07	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	2.09					
0.1N	2		12.1				
0.2N	2			21.91			
0.5N	2				25.81		
1.0N	2					37.6	
2.0N	2						43.13
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

ตารางที่ 8.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3807.35	5	761.47	9410.54	1.36E-11
Within Groups	0.49	6	0.08		
Total	3807.83	11			

REMOVAL							
Duncan							
HCL	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	12.41					
0.1N	2		21.89				
0.2N	2			29.99			
0.5N	2				42.73		
1.0N	2					49.39	
2.0N	2						65.9
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้