ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

ภาควิชาปฐพีวิทยา

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าโดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

Lead removal from soils via lab-scale soil washing technique using HNO_3 as extracting solution

โดย

นางสาวจิรพร ชวิวิทยา

.....

(ดร.นุกูล ถวิลถึง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาควิชารับรองแล้ว

.....

(รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม)

หัวหน้าภาควิชาปฐพีวิทยา

วันที่ 8 เดือน มีนาคม พ.ศ. 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21127

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าโดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

Lead removal from soils via lab-scale soil washing technique using HNO_3 as extracting solution

T099609

โดย

นางสาวจิรพร ชวิวิทยา

เสนอ

ภาควิชาปฐพีวิทยา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต(ปฐพีวิทยา)

พ.ศ.2548

ปฐ.
จ495ก
2548
เลขหมู่.....
ทะเบียน.....99609
วัน.เดือน.ปี.....16 มิ.ย. 2549

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง	การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าโดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด
ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ	Lead removal from soils via lab-scale soil washing technique using HNO_3 as extracting solution
โดย	นางสาว จิรพร ชวิวิทยา
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ภาควิชา	ปฐพีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. นุกูล ถวิลถึง

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการนำตะกั่วมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จึงทำให้มีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการปนเปื้อนในดินซึ่งจะกำจัดออกได้ยากมาก จากการศึกษาการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้วิธีการล้างดิน (soil washing) ในดินบริเวณโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่ ชื่อ กิมหลีหล่อหลอมมโลหะที่จังหวัดระยอง โดยทำการเก็บตัวอย่างดิน 4 จุดดังนี้ จุดที่ 1 ติดกับโรงงาน , จุดที่ 2 ห่างจากโรงงานประมาณ 100 เมตร , จุดที่ 3 ห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร และจุดที่ 4 ห่างจากโรงงานประมาณ 1,000 เมตร ซึ่งเก็บดินแต่ละจุดที่ความลึก 2 ระดับ คือ 0-15 ซ.ม. และ 15-30 ซ.ม. และหลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน และทำการศึกษาการสกัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้วิธีการล้างดิน (soil washing)โดยใช้กรด HNO_3 เป็นน้ำยาสกัดซึ่งใช้ความเข้มข้นที่แตกต่างกันดังนี้ 0.05N, 0.1N, 0.2N, 0.5N, 1N, และ 2N

จากผลการทดลองจะพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากดินได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้น 2N โดยสามารถกำจัดตะกั่วได้ (52.0%-98.9%) และประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้น 1N (34.1%-75.9%) รองลงมาคือ 0.5N, 0.2N, 0.1N, และ 0.05N ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาสกัดประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามหลังจากการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ HNO_3 แล้วจะทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดรุนแรงมาก ดังนั้นถ้าหากต้องการที่จะนำดินไปใช้ในการเพาะปลูกทางการเกษตร ควรจะต้องมีการปรับปฏิกิริยาของดินก่อนโดนใช้ปูนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ นุกูล ถวิลถึง อาจารย์ที่ปรึกษาพิเศษที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนช่วยเหลือในทุกๆด้านของการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ซึ่งเป็นผลทำให้ปัญหาพิเศษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในด้านต่างๆและกรุณาให้แนวความคิดรวมทั้งคำปรึกษาแนะนำเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล ที่ให้คำปรึกษาและช่วยให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ สมเกียรติ สีสนอง ที่คอยให้ความเอื้อเฟื้อห้อง GIS และเครื่องคอมพิวเตอร์ และคอยให้คำปรึกษามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณนุจรี บุญแปลง และคุณนารี พันธุ์จินดาวรรณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยาที่ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ดินและพืช และขอขอบพระคุณ คุณน้ำสมจิตร มั่งนาค ที่ช่วยให้ความสะดวกด้านอุปกรณ์ต่างๆเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณณัฐกร อินทรวิชะ ที่คอยให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในทุกๆเรื่องเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณเพื่อนปฐพีรุ่น 18 ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณเพื่อนภาค พืชสวน พืชไร่ และกีฏวิทยา ที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณห้อง GIS และเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่ช่วยให้การทำงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ รวมทั้งขอขอบพระคุณบรรดาญาติ-พี่น้องทุกท่านที่คอยให้กำลังใจซึ่งเป็นที่มาแห่งความสำเร็จของข้าพเจ้า

นางสาว จิรพร ชวิวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II-V
สารบัญกราฟ	VI-VII
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ตรวจเอกสาร	3-20
อุปกรณ์และวิธีการ	21-28
ผลการทดลอง	29-54
สรุปผลการทดลอง	55-56
เอกสารอ้างอิง	57-59
ภาคผนวก A แสดงค่าวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน	61-62
ภาคผนวก B ค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดิน และค่า pH ของดินหลังกำจัดตะกั่ว	64-75
ภาคผนวก C ค่า Analysis of Variance (ANOVA)	77-92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้สารลดแรงตึงผิวในการล้างดิน	17
ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่ว โดยใช้กรดไนตริก	20
ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินที่ไม่ควร เกินค่ามาตรฐานโดยประเทศเนเธอร์แลนด์ (Dutch authorities)	20
ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 1	30
ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 2	30
ตารางที่ 5.3 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 3	31
ตารางที่ 5.4 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 4	31
ตารางที่ 5.5 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน	32
ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	37
ตารางที่ 5.7 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	38
ตารางที่ 5.8 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	39
ตารางที่ 5.9 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	40
ตารางที่ 5.10 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	41
ตารางที่ 5.11 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	42
ตารางที่ 5.12 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	43
ตารางที่ 5.13 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	44
ตารางที่ 5.14 ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 5.15	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	48
ตารางที่ 5.16	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	49
ตารางที่ 5.17	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	50
ตารางที่ 5.18	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	51
ตารางที่ 5.19	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	52
ตารางที่ 5.20	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	53
ตารางที่ 5.21	ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	54
ตารางที่ 1 A	แสดงค่าวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินแต่ละจุด (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+})	61-62
ตารางที่ 1 B	แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HCl, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด	64-76
ตารางที่ 1 C	ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15 cm)	77
ตารางที่ 1.1 C	อนุภาคขนาด <2.0 mm.	77
ตารางที่ 1.2 C	อนุภาคขนาด 0.5 mm.	77
ตารางที่ 1.3 C	อนุภาคขนาด 0.1 mm.	78
ตารางที่ 1.4 C	อนุภาคขนาด <0.1 mm.	78
ตารางที่ 2 C	ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 cm)	79
ตารางที่ 2.1 C	อนุภาคขนาด <2.0 mm.	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.	79
ตารางที่ 2.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.	80
ตารางที่ 2.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.	80
ตารางที่ 3 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm)	81
ตารางที่ 3.1C อนุภาคขนาด <2.0 mm.	81
ตารางที่ 3.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.	81
ตารางที่ 3.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.	82
ตารางที่ 3.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.	82
ตารางที่ 4 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 2 ดินบน (15-30 cm)	83
ตารางที่ 4.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.	83
ตารางที่ 4.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.	83
ตารางที่ 4.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.	84
ตารางที่ 4.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.	84
ตารางที่ 5 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm)	85
ตารางที่ 5.1C อนุภาคขนาด <2.0 mm.	85
ตารางที่ 5.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.	85
ตารางที่ 5.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.	86
ตารางที่ 5.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.	86
ตารางที่ 6 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30 cm)	87
ตารางที่ 6.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.	87
ตารางที่ 6.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.	87
ตารางที่ 6.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.	88
ตารางที่ 6.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.	88
ตารางที่ 7 C ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15 cm)	89
ตารางที่ 7.1 C อนุภาคขนาด <2.0 mm.	89
ตารางที่ 7.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm.	89
ตารางที่ 7.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm.	90
ตารางที่ 7.4 C อนุภาคขนาด <0.1 mm.	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 8 C	ค่า Analysis of Variance (ANOVA) ของดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30 cm)	91
ตารางที่ 8.1 C	อนุภาคขนาด <2.0 mm.	91
ตารางที่ 8.2 C	อนุภาคขนาด 0.5 mm.	91
ตารางที่ 8.3 C	อนุภาคขนาด 0.1 mm.	92
ตารางที่ 8.4 C	อนุภาคขนาด <0.1 mm.	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.1 การแสดงการปนเปื้อนตะกั่วจากการประกอบอาชีพ	4
รูปที่ 3.2 แสดงการปนเปื้อนตะกั่วจากอากาศ	4
รูปที่ 3.3 แสดงแหล่งปนเปื้อนตะกั่วจากแหล่งต่างๆ	5
รูปที่ 3.4 แสดงเส้นทางการเข้าสู่ร่างกาย	8
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะแนวเส้นตะกั่วบริเวณเหงือก (Lead line)	9
รูปที่ 3.6 แสดงอาการทางระบบประสาทส่วนปลาย	10
รูปที่ 3.7 แสดงตะกั่วที่สะสมในร่างกาย	10
รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงการล้างดิน	12
รูปที่ 3.9 แสดงรูปแบบหลักของการล้างดินทั่วไป	13
รูปที่ 3.10 แสดงระบบการล้างไล่สารปนเปื้อนแบบฉีดไหลวน	18
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างแสดงภาพตัดขวางของการล้างไล่สารปนเปื้อนในดิน	18
รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงที่ตั้งโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่า และตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน	23
รูปที่ 4.2 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน	27
รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการสกัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (soil washing)	28
รูปที่ 5.1 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0 -15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	37
รูปที่ 5.2 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	38
รูปที่ 5.3 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	39
รูปที่ 5.4 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	40
รูปที่ 5.5 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	41
รูปที่ 5.6 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ 5.7	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	43
รูปที่ 5.8	ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด	44
รูปที่ 5.9	pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HNO_3 ในดินจุดที่ 1 (ดินบน)	47
รูปที่ 5.10	pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HNO_3 ในดินจุดที่ 1 (ดินล่าง)	48
รูปที่ 5.11	pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HNO_3 ในดินจุดที่ 2 (ดินบน)	49
รูปที่ 5.12	pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HNO_3 ในดินจุดที่ 2 (ดินล่าง)	50
รูปที่ 5.13	pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HNO_3 ในดินจุดที่ 3 (ดินบน)	51
รูปที่ 5.14	pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HNO_3 ในดินจุดที่ 3 (ดินล่าง)	52
รูปที่ 5.15	pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HNO_3 ในดินจุดที่ 4 (ดินบน)	53
รูปที่ 5.16	pH ของดินหลังกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัด HNO_3 ในดินจุดที่ 4 (ดินล่าง)	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดตะกั่วออกจากดินในบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าโดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

Lead removal from soils via lab-scale soil washing technique using HNO_3 as extracting solution

1. คำนำ

สิ่งแวดล้อมในปัจจุบันนี้มีปัญหามากในด้านมลภาวะเป็นพิษ ไม่ว่าจะเป็นมลพิษทางน้ำ, มลพิษทางอากาศ รวมถึงมลพิษทางดิน ซึ่งเกิดจากมีสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก เช่น พวกโลหะหนักต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตะกั่ว ซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ ตะกั่วนั้นพบว่ามีปัญหามากในระบบสิ่งแวดล้อมทั้งทางน้ำ, ทางอากาศ และทางดิน โดยเฉพาะพบการปนเปื้อนในดินเป็นจำนวนมากเมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ระบบเลือด ทำให้เม็ดเลือดแดงผิดปกติและแตกง่าย โลหิตจาง

ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มีการนำตะกั่วมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ , การสกัดน้ำมัน , โรงงานทำสีทาบ้าน , การหลอมโลหะ , การทำเหมืองตะกั่ว , อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกและคอมพิวเตอร์ และในประเทศไทยพบว่าแหล่งที่มีปัญหาตะกั่วปนเปื้อนในดินมาจากโรงงานหลอมแบตเตอรี่ จากการสำรวจของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2542) โดยจะพบว่ามีการปนเปื้อนตะกั่วในดินสูงถึง 1,500-1,700 mg/kg ตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในดินจะกำจัดออกจากดินได้ยากมาก เนื่องจากการดูดซับการตกตะกอน และมีการจับกับอินทรียวัตถุเป็นสารประกอบที่ซับซ้อน การกำจัดตะกั่วออกจากดินมีหลายวิธี วิธีที่นิยมใช้กันมากมี 2 วิธี คือ วิธีการล้างดิน (soil washing) เป็นการกำจัดโดยขุดดินขึ้นมาและนำมาล้างด้วยน้ำยาสกัดโดยปกติแล้วจะทำการแยกขนาดอนุภาคก่อน เพราะว่า ความสามารถในการกำจัดออกจากดินในแต่ละขนาดแตกต่างกันและวิธีการชะล้างไล่สารปนเปื้อนในดิน (soil flushing) เป็นการกำจัดตะกั่วโดยที่ไม่ต้องเคลื่อนย้ายดินออกจากพื้นที่ โดยปกติแล้วน้ำยาสกัดที่นิยมใช้สกัดกับทั้ง 2 วิธีจะมีกรดและสารประกอบคีเลต กรดสามารถกำจัดตะกั่วออกจากดินได้เนื่องจาก H^+ สามารถไปไล่ที่ Pb^{2+} ได้ ส่วนในกรณีสารประกอบคีเลตจะไปรวมตัวกับตะกั่วและชะละลายออกไป กรดและสารประกอบคีเลตที่ใช้ในการกำจัดตะกั่วออกจากตัวอย่างดินมีอยู่หลายชนิด เช่น HCl , HNO_3 สารประกอบคีเลตที่มีการศึกษา เช่น EDTA , DTPA ซึ่งความสามารถในการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยน้ำยาสกัดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในดิน , ชนิดของดิน , สัดส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมระหว่าง โมลของน้ำยาสกัด : ตะกั่วในดิน , ปริมาณ pH ของน้ำยาสกัด , ปริมาณ silt และ clay อย่างไรก็ตาม เนื่องจากคุณสมบัติของดินแต่ละจุดที่แตกต่างกัน , การบำบัดที่ไม่เหมือนกัน , ปริมาณตะกั่วที่มีในดินแต่ละจุดที่แตกต่างกัน , และความเข้มข้นของน้ำยาสกัดที่แตกต่างกัน จึงมีการทำการทดลองเกี่ยวกับความเข้มข้นของน้ำยาสกัดที่เหมาะสมที่ใช้ในการกำจัดตะกั่วแต่ละจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสัดส่วนความเข้มข้นของน้ำยาสกัด (HNO_3) ที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีล้างดิน (soil washing) ในดินที่ปนเปื้อนตะกั่วจากโรงงานหล่อหลอมแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตรวจเอกสาร

3.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับโลหะตะกั่ว

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

สัญลักษณ์ทางเคมี Pb	ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 20°C) 11.34 g/cm2
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/mm2	พิกัดความยืดหยุ่น 0.3 kg/mm2
อัตรายืดตัว 60%	ความแข็ง 5 HB
โครงสร้างผลึก cubic face centered	

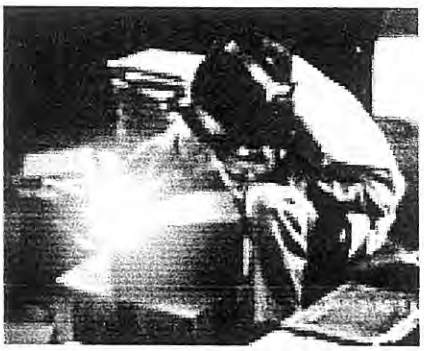
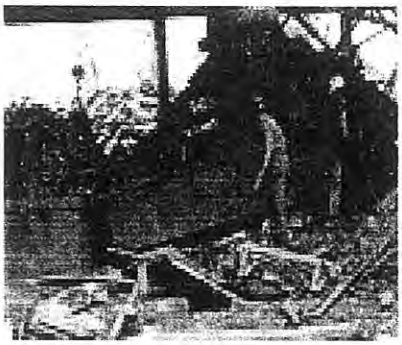
3.2 แหล่งกำเนิดสารพิษตะกั่ว

(1) แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ สารตะกั่วในธรรมชาตินั้นมาจากฝุ่นซิลิเกตของการผุสลายของดินและการปล่อยออกมาจากภูเขาไฟ แหล่งที่สำคัญได้แก่ หินอัคนี (igneous) และหินแปร (metamorphic)

(2) แหล่งกำเนิดที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ที่มาจากหลากหลายแหล่ง อาทิเช่น

2.1) แหล่งจากการประกอบอาชีพ ได้แก่ การทำเหมืองตะกั่ว อุตสาหกรรมอิเล็คโทรนิคและคอมพิวเตอร์ การนำของเก่าที่มีตะกั่วผสมอยู่มาหลอมใช้ใหม่ การบรรทุกหรือขนถ่ายสิ่งของที่มีฝุ่นตะกั่วผสมอยู่ การทำให้ตะกั่วบริสุทธิ์ การผลิตบรอนซ์ตะกั่ว สีตะกั่ว ตะกั่วผง และตะกั่วในรูปอื่นๆการผลิตแก้วที่มีตะกั่วปนอยู่ การทาหรือพ่นสีกันสนิม การใช้สารประกอบของตะกั่วในรูปที่เป็นผงผลิตแบตเตอรี่ การชุบโลหะ การทำเครื่องปั้นดินเผา การทำและบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช การเรียงพิมพ์ การเติมน้ำมัน การใช้น้ำมันเบนซินทำความสะอาดเครื่องยนต์กลไกต่างๆ ซึ่งแหล่งจากการประกอบอาชีพเป็นแหล่งที่สารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายคนได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แสดงการปนเปื้อนตะกั่วจากการประกอบอาชีพ
ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Lead

2.2) แหล่งจากอากาศที่ปนเปื้อนตะกั่ว โดยทั่วไปแล้วการหายใจเอาตะกั่วในอากาศนั้นเป็นทางได้รับตะกั่วที่สำคัญที่พักอาศัย และการจราจรจะมีผลอย่างมาก โดยระดับตะกั่วจะสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรเฉลี่ยในแต่ละวันของถนนสายสำคัญ ใกล้บ้าน นอกจากนั้นสถานีบริการน้ำมันเป็นแหล่งกำเนิดทำให้อากาศปนเปื้อนตะกั่วได้

รูปที่ 3.2 แสดงการปนเปื้อนตะกั่วจากอากาศ
ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Lead

2.3) แหล่งจากดินและฝุ่น ดินและฝุ่นได้รับตะกั่วโดยการสะสมจากตะกั่วในอากาศที่ได้รับจากรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งอื่นๆรวมทั้งแผ่นสีเก่าหลุดสะสมในดินโดยตะกั่วที่สะสม มักจะอยู่บริเวณผิวดิน จะพบมากในเด็กที่มีพฤติกรรมชอบสำรวจซึ่งจะทำให้เด็กเหล่านี้มีโอกาสที่จะได้รับตะกั่วจากดินและฝุ่นโดยการกินและสัมผัส

2.4) แหล่งอาหารและน้ำดื่ม พืชผลที่เจริญเติบโตบริเวณสถานีบริการน้ำมันหรือใกล้ทางสัญจรจะมีความเข้มข้นของตะกั่วที่สะสมจากตะกั่วในอากาศมากกว่าพืชผลที่เจริญเติบโตในบริเวณอื่นตะกั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามรถสะสมในอาหารระหว่างขบวนการผลิตการขนส่ง อาหารกระป๋อง โดยเฉพาะอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด จะสามารถละลายส่วนที่เป็นตะกั่วจากกระป๋องที่บรรจุได้ ตะกั่วในน้ำดื่มส่วนใหญ่ได้มาจากการละลายจากท่อประปาที่มีตะกั่วผสมอยู่ โดยเฉพาะถ้าน้ำดังกล่าวมีฤทธิ์เป็นกรดด้วย

2.5) แหล่งจากเครื่องถ้วยชามที่เคลือบปนด้วยสารตะกั่ว ในสหรัฐอเมริกามีการรายงานการเป็นพิษของตะกั่วอยู่หลายครั้ง จากแหล่งเครื่องถ้วยชามนี้ เพราะเครื่องถ้วยชามสามารถปล่อยตะกั่วจำนวนมากไปในอาหารและเครื่องดื่มได้ โดยเฉพาะชิ้นที่มีการแตกร้าว หรือแม้แต่มีการใช้มากและล้างขัดมาก

2.6) แหล่งสีที่มีตะกั่วเป็นพื้น เป็นแหล่งที่ให้ตะกั่วปริมาณสูงโดยน้ำหนักของสีขณะแห้ง เด็กที่อาศัยอยู่ในบ้านที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่วหรือบ้านที่ทาสีด้วยสีที่มีตะกั่ว ทั้งสีภายในและภายนอกเป็นเด็กที่เสี่ยงต่อการได้รับตะกั่ว ยิ่งถ้าสีเหล่านั้นเก่าและมีการหลุดลอกออกจะเกิดชิ้นเล็กๆ และมีฝุ่นตะกั่วผสมอยู่ตามพื้นทำให้ได้รับตะกั่วเข้าไปสะสมในร่างกายได้

รูปที่ 3.3 แสดงแหล่งปนเปื้อนตะกั่วจากแหล่งต่าง ๆ

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

2.7) สีจากแหล่งอื่นๆตะกั่วสามารถพบในยาแผนโบราณ เช่น ยาจีนหลายชนิด ซึ่งเราอาจได้รับตะกั่วจำนวนมากๆต่อครั้งได้ อาจได้รับจากการสูดดมน้ำมันก๊าซโซลีน การเผาน้ำมันที่ทิ้งแล้ว จากกระดาษหนังสือพิมพ์ สีจากเปลือกแบตเตอรี่ ในเครื่องสำอางที่ผลิตขึ้นอย่างไม่เหมาะสมบางชนิด การใช้น้ำมันหล่อลื่นบางชนิดที่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงร้อยละ 30

3.3 การผลิตตะกั่ว

การผลิตตะกั่วจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ตะกั่วปฐมภูมิ (primary lead) และตะกั่วทุติยภูมิ (secondary lead) ประเภทแรกนั้นเป็นการผลิตตะกั่วจากการถลุงแร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกาลีนา (PbS) แล้วหลอมให้บริสุทธิ์ ส่วนประเภทหลังนั้นเป็นการหลอมเศษตะกั่ว ส่วนใหญ่ ได้แก่ แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วนำกลับมาใช้ใหม่อีก ในการผลิตทั้ง 2 ประเภทนั้นทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนสารตะกั่วในสภาวะแวดล้อม ทั้งดิน น้ำ และอากาศ นอกจากนั้นยังมีผลต่อเนื่องไปยังประชาชนผู้อยู่ในบริเวณใกล้เคียงอีกด้วย

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

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

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

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

ดังนั้นสารประกอบตะกั่วในน้ำมันจึงอาจสามารถกระจายไปได้ไกลและอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมบริเวณห่างไกลความเจริญได้ ฝนอาจชะล้างตะกั่วออกจากบรรยากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การใช้ตะกั่วในวงการอุตสาหกรรม

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) สารประกอบอนินทรีย์ตะกั่ว

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

(2) สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว

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

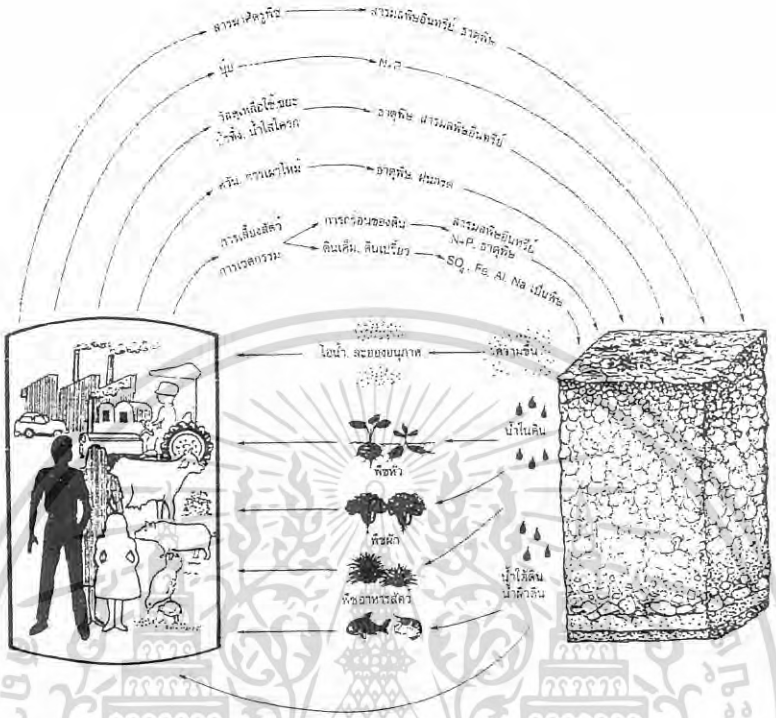
3.5 ความเป็นพิษของตะกั่ว

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การดูดซึมของตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ



รูปที่ 3.4 แสดงเส้นทางการเข้าสู่ร่างกาย

ที่มา : ศุภมาศ พ.ศ. ๒๕๓๘

(1) การดูดซึมจากระบบทางเดินอาหาร

แหล่งสำคัญ คือ การปนเปื้อนของตะกั่วในอาหาร น้ำ เครื่องดื่ม ยาสมุนไพรแผนโบราณและภาชนะเครื่องใช้ที่มีตะกั่วปนเปื้อน พบว่าร้อยละ 70 - 85 ของตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายคนปกติได้จากอาหาร

(2) การดูดซึมจากระบบทางเดินหายใจ

การหายใจเอาควันหรือฟูมของตะกั่วที่หลอมเหลวเข้าไป เช่น จากการหลอมตะกั่วหรือเชื่อมโลหะ ซึ่งเป็นทางเข้าสู่ร่างกายอันดับแรกของผู้ประกอบอาชีพที่สัมผัสตะกั่ว เช่น คนงานในโรงงานหลอมตะกั่ว แบตเตอรี่ โรงงานผลิตสี ฯลฯ

(3) การดูดซึมทางผิวหนัง

เกิดเฉพาะตะกั่วอินทรีย์เท่านั้น ผู้ที่มีโอกาสได้รับตะกั่วทางผิวหนัง ได้แก่ คนงานที่ทำงานในปั๊มน้ำมัน ช่างซ่อมเครื่องยนต์ เนื่องจากในอุตสาหกรรมน้ำมันมีการเติม เตตราเอธิลเลด (Tetraethyl lead) หรือ เตตราเมทธิลเลด (Tetramethyl lead) ผสมในน้ำมันเบนซิน ดังนั้น เมื่อคนงานถูกน้ำมันรดผิวหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือใช้น้ำมันเบนซินล้างมือ เตตราเอธิลสามารถละลายชั้นไขมันของผิวหนังได้ ตะกั่วจึงสามารถซึมผ่านผิวหนังและเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดของร่างกายไปสู่ตับ และจะเปลี่ยนเป็นไตรเอธิลเลด (Triethyl lead) ได้ช้ามาก โดยมีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 200 - 350 วัน ตะกั่วจึงสามารถสะสมอยู่ในร่างกายได้เป็นเวลานาน

3.7 ตะกั่วที่มีพิษต่อร่างกาย

1. พิษตะกั่วในผู้ใหญ่

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

รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะแนวเส้นตะกั่วบริเวณเหงือก (Lead line)

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 แสดงอาการทางระบบประสาทส่วนปลาย

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

(1.3) อาการทางสมอง เป็นอาการแสดงที่พบว่ารุนแรงที่สุด มักพบในเด็กที่ได้รับตะกั่วอนินทรีย์หรือสูดเอาไอและละอองฝุ่นตะกั่วเข้าไปมาก สำหรับผู้ใหญ่พบได้น้อย โดยมากเกิดจากตะกั่วอินทรีย์

(1.4) อาการทางโลหิต ผู้ป่วยมักจะมีอาการซีดเลือดจาง อ่อนเพลีย นอกจากอาการดังกล่าวแล้ว ผู้ป่วยมักมีอาการปวดศีรษะ 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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พิษตะกั่วในเด็ก

(2.1) ระบบประสาท โดยตะกั่วจะทำลายทั้งระบบประสาทส่วนกลาง และระบบประสาทส่วนปลาย ยิ่งอายุน้อยระบบประสาทยิ่งถูกทำลายมาก ดังนั้นในเด็กเล็กจึงเป็นอันตรายอย่างยิ่ง

(2.2) ระบบทางเดินปัสสาวะ ตะกั่วทำลายไตโดยตรงทำให้เกิดการฝ่อลีบของบริเวณที่กรองปัสสาวะ

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

(2.4) พิษต่อหัวใจ ทำให้เกิดกล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ

(2.5) ระบบทางเดินอาหาร ทำให้กล้ามเนื้อเรียบมีการเกร็ง เกิดอาการปวดท้องมาก

3.8 การแก้พิษตะกั่ว

(1) ถ้าได้รับตะกั่วปริมาณเข้ากระเพาะควรรักษาโดยให้ทิงเจอร์เบลดอนนาบรรเทาอาการปวดท้อง หรือให้อะโทรปีนและขจัดการดูดซึมของตะกั่วให้น้อยลง โดยกินอาหารประเภท นม ผัก และเกลือแคลเซียม

(2) ให้กำจัดตะกั่วโดยกินแมกนีเซียมซัลเฟตเพื่อเร่งการขับถ่ายอุจจาระ ถ้าปวดท้องมากควรฉีดแคลเซียมกลูโคเนต 10 ซีซี เข้าเส้นเลือดดำช้าๆ

(3) กรณีชัก อาจให้ Diazepam เพื่อป้องกันการชัก

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

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

3.9 การควบคุมและป้องกันตะกั่ว

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

(2) ใช้เครื่องป้องกันไอตะกั่ว ป้องกันฝุ่น เช่น ใช้หน้ากากที่มีตัวกรองตะกั่ว

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 เทคโนโลยีในการบำบัดสารมลพิษในดิน

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

(1) การล้างดิน (soil washing)

การล้างดิน (soil washing) เป็นการนำดินออกมาล้างนอกบริเวณที่ปนเปื้อนด้วยกระบวน-การสกัดและแยกสารปนเปื้อนอินทรีย์ อนินทรีย์และกัมมันตรังสีออกจากดินด้วยการใช้สารเคมีหรือ วิธีการทางกายภาพมักจะถูกนำมาใช้เป็นการบำบัดเบื้องต้นเพื่อลดปริมาตรของของเสียก่อน การกำจัดโดยวิธีอื่นดังแผนภาพการล้างดินดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงการล้างดิน

ที่มา : USEPA 1993

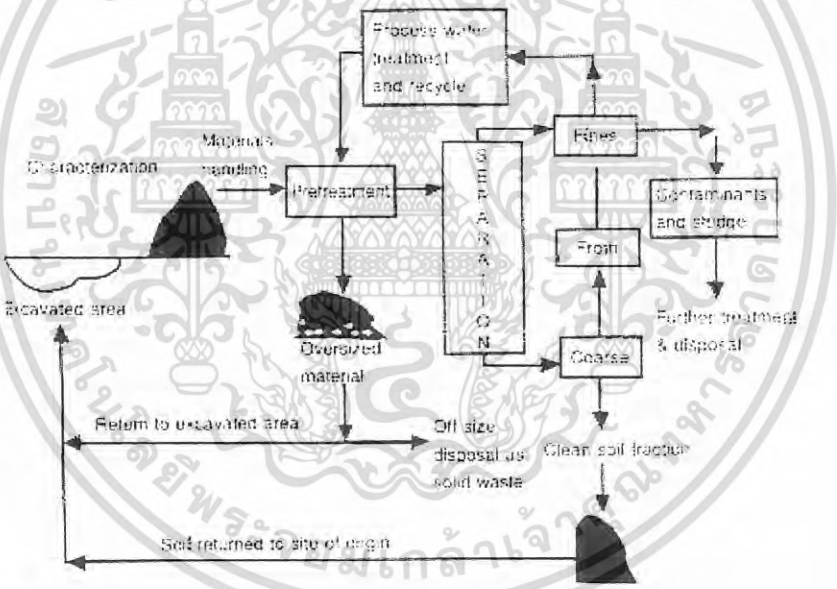
วิธีการคือ การขุดดินและนำมากองไว้ ทำการบำบัดเบื้องต้นเพื่อกำจัดไม่ให้มีวัสดุใหญ่มากเกินไปด้วยการล้างน้ำและอาจจะใช้สารทำความสะอาดอื่นเพื่อทำการแยก และรวมสารปนเปื้อนออกมา กระบวนการนี้จะได้ดินสะอาดกลับคืนมาใช้ประโยชน์และสารปนเปื้อนที่เข้มข้นในส่วนของดินอีกส่วนหนึ่ง เพื่อนำไปบำบัดในขั้นต่อไป วิธีการนี้เป็นการลดปริมาตรของดินที่มีการปนเปื้อนที่จะต้องการบำบัดสามารถลดค่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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ ซึ่งสารปนเปื้อนดังกล่าวนี้จำเป็นที่จะต้องกำจัดออกด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น การทำลายโดยความร้อน (thermal destruction) การใช้ความร้อนไล่การดูดซับออก (thermal desorption) หรือใช้วิธีทางชีวภาพ (Bioremediation)

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

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



รูปที่ 3.9 แสดงรูปแบบหลักของการล้างดินทั่วไป

ที่มา : USEPA 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งวิธีการขึ้นอยู่กับลักษณะและความเข้มข้นของสารปนเปื้อนการทำความสะอาดให้ได้มาตรฐาน ค่าใช้จ่าย เป็นต้น

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

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

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

ถ้าน้ำล้างไม่เป็นไปตามมาตรฐานการระบายจะต้องแสดงใบกำกับเป็นของเสียอุตสาหกรรมหรือของเสียอันตรายและนำไปบำบัดในระบบบำบัดและกำจัดของเสียศูนย์กลาง ซึ่งขึ้นอยู่กับของเสียในน้ำล้างและเกณฑ์กฎหมายที่อนุญาตให้มีการปล่อยทิ้งได้ วิธีการบำบัดที่สามารถที่จะนำมาใช้ในการบำบัดเป็นวิธีเดียวกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบในน้ำที่ต้องการบำบัด กระบวนการบำบัดที่นิยมใช้ ได้แก่ การทำให้เป็นกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

(2) การชะล้างไล่สารปนเปื้อนในดิน (Soil Flushing)

เป็นการใช้น้ำชะล้างไล่สิ่งสกปรกออกจากดินเป็นกระบวนการที่กระทำในบริเวณดินปนเปื้อน (in situ process) ด้วยการใช้น้ำหรือแก๊สผสมเพื่อเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนออกจากดินเพื่อการนำดินกลับมาใช้ประโยชน์และการบำบัดต่อไป

การใช้น้ำชะล้างไล่สารปนเปื้อนดินให้ไหลออกไปเพื่อเป็นการนำกลับมาใช้ประโยชน์และเป็นการบำบัดดินแหล่งนั้น เป็นการใช้น้ำหรือส่วนผสมของแก๊สเพื่อทำการเร่งให้สารที่มีลักษณะทางภูมิเคมีเหมือนกันหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งชนิดไม่ทำปฏิกิริยาในการละลายเพื่อทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในระบบน้ำใต้ดิน มักพบในระบบเครื่องสูบน้ำใต้ดินด้วยกลไกในการขนถ่ายสารปนเปื้อนในชั้นใต้ผิวดิน ประสิทธิภาพในการขนถ่ายสารปนเปื้อนขึ้นกับสารปนเปื้อนและลักษณะทางอุทกวิทยาขึ้นอยู่กับสารปนเปื้อนว่ามีสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และกัมมันตรังสี การขนถ่ายสารปนเปื้อนมักจะเกิดประสิทธิภาพถ้าเป็นดินชนิดเดียวกัน มีความสามารถซึมน้ำได้ เช่น ดินทรายหรือทรายปนโคลน อาจจะใช้ในการนำกลับน้ำมันกลับมาใช้ด้วยการใช้สารออกซิไดซิงค์

การใช้น้ำชะล้างไล่สารปนเปื้อนในดินแยกออกเป็น 3 กิจกรรม

1) ลักษณะของสถานที่ตั้ง ที่อยู่เหนือ หรือภายในหรือต่ำกว่าบริเวณดินที่มีการปนเปื้อน ต้องมีความเข้าใจถึง อุทกวิทยา เคมี และความสามารถในการซึมน้ำได้ของดิน รวมถึงการศึกษาในเรื่องของหิน

2) การฉีดของเหลวลงไปในดิน การใส่ของเหลวลงในดินหรือการสูบน้ำใต้ดิน ด้วยการทำให้น้ำท่วมดิน หรือด้วยการหมุนวนน้ำไหลผ่านชั้นใต้ดิน และวิธีอื่นๆ เมื่อสารปนเปื้อนถูกน้ำไล่ชะล้างออกไป น้ำที่ใช้ทำการชะล้างสารปนเปื้อนอาจจะถูกนำออกไปหรืออยู่ในสภาพของการเกาะอยู่ที่ดิน

3) เทคนิคในการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนและการนำกลับมาใช้ประโยชน์ เทคนิคที่นำมาใช้ในการทำให้สารปนเปื้อนเกิดการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไล่สารปนเปื้อนด้วยน้ำมักใช้ในการไล่สารปนเปื้อนที่เป็นพวกปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน คลอริเนตเต็ดไฮโดรคาร์บอน โลหะ เกลือ สารปราบศัตรูพืช - สัตว์ สารปราบวัชพืชและกัมมันตรังสี ไอโซโทป ประสิทธิภาพในการทำงานด้วยวิธีนี้มักจะเกิดจากการที่ดินมีความเป็นเนื้อเดียวกันและมีความสามารถในการซึมน้ำได้ การล้างไล่สารปนเปื้อนอาจจะเป็นผลจากการเคลื่อนที่ของสิ่งสกปรกออกมาจากการสลายนำกลับมาใช้ในการบำบัดดิน ด้วยสารออกซิไดส์ซิงส์และทำให้เกิดการนำน้ำมัน (oil) กลับมาใช้ประโยชน์

การดูดซับสาร / การคายสาร (adsorption / desorption)

ปฏิกิริยากรด / ด่าง (acid / base reaction)

ปฏิกิริยาการละลายน้ำ / การตกผลึก (solution / precipitation reaction)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน / ปฏิกิริยารีดักชัน (oxidation / reduction reaction)

การควบอิออน / การทำให้เกิดสารเชิงซ้อน (Ion paring / complexation)

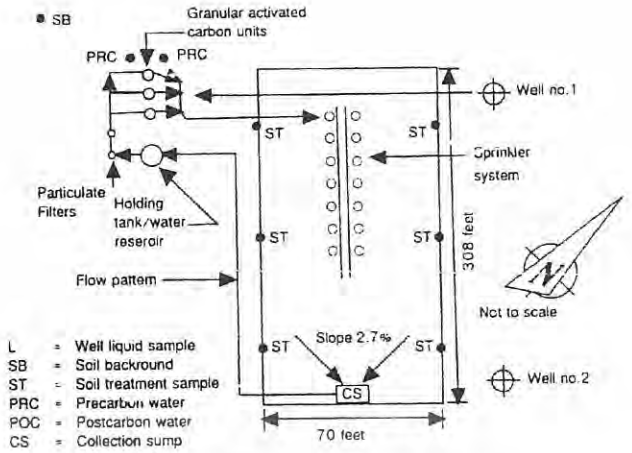
การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

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

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้สารลดแรงตึงผิวในการล้างดินในสถานที่

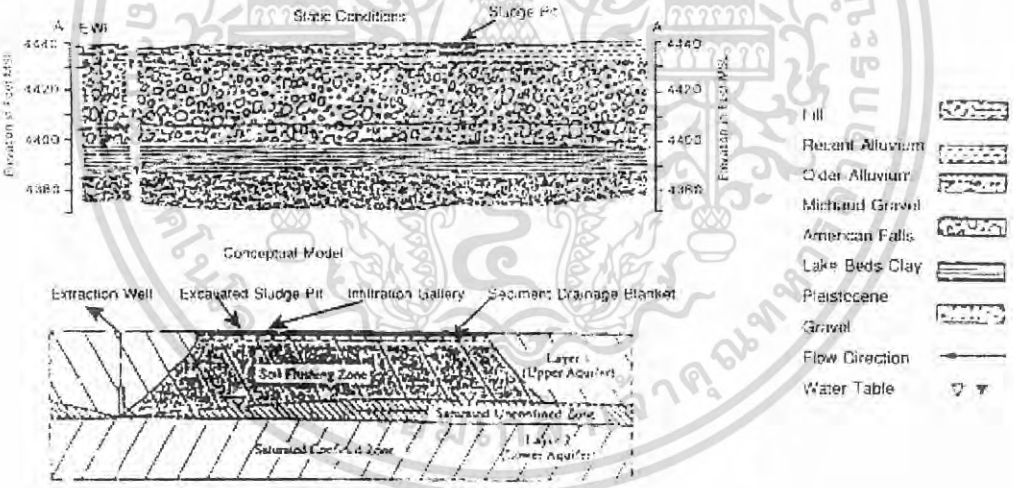
ปัจจัย	สภาวะที่เหมาะสม
ลักษณะของดิน : ขนาดของอนุภาค : TOC : ค่าความนำชลศาสตร์ (Hydraulic Conductivity)	 มีดินทรายปนโคลนและดินเหนียว ต่ำ น้อยกว่า 10 % medium to high > 10
ลักษณะของของเสีย	Hydrophobic K_{DW} = 3 or less Nonvolatile Organic
ลักษณะของสารลดแรงตึงผิว	ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายทางชีวภาพได้ละลายที่อุณหภูมิในน้ำใต้ดินไม่ดูดซับดิน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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
99609



รูปที่ 3.10 แสดงระบบการล้างไล่สารปนเปื้อนแบบฉีดไหลวน

ที่มา : USEPA 1993



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างแสดงภาพตัดขวางของการล้างไล่สารปนเปื้อนในดิน

ที่มา : USEPA 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 การกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (Soil washing) โดยใช้ HNO_3 น้ำยาสกัด

Cline el. al (1993) มีการศึกษาการสกัดตะกั่วออกจากจากดินหลายชนิดโดยใช้น้ำยาสกัดดังนี้ HCl , HNO_3 , EDTA , CH_3COOH , $CaCl_2$ และน้ำประปา EDTA และ HCl สามารถกำจัดตะกั่วออกมาได้มากที่สุดถึง 92% และ 89% ตามลำดับ HNO_3 สามารถสกัดได้ 87% , CH_3COOH สามารถกำจัดตะกั่วได้ 45% และ $CaCl_2$ สามารถกำจัดตะกั่วได้ 36% ส่วนน้ำประปากำจัดตะกั่วได้เพียง 4.1% และที่ความเข้มข้นของตะกั่วที่ 1,000 mgL^{-1} ซึ่งสามารถกำจัดตะกั่วได้ดีกว่าความเข้มข้นของตะกั่วที่ 10 mgL^{-1}

Nukoon el. al (2005) ได้ทำการทดลองในดินบริเวณโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าในการทดลองศึกษาสัดส่วน L/S ที่แตกต่างกัน ในการทดลองกำจัดตะกั่วออกจากดินในขนาดอนุภาคดินแตกต่างกันดังนี้ อนุภาคขนาดน้อยกว่า 2 mm , อนุภาคขนาดหยาบ ,อนุภาคขนาดปานกลาง อนุภาคขนาดละเอียด การกำจัดตะกั่วในอนุภาคขนาด < 2 mm และอนุภาคขนาดหยาบพบว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้สูงที่สัดส่วน 5:1(L/S) และในอนุภาคขนาดกลางและอนุภาคขนาดละเอียด สัดส่วนที่กำจัดตะกั่วได้สูงที่สุด คือ 10:1(L/S) และได้ทำการศึกษาน้ำยาสกัด 3 ชนิด คือ EDTA , HNO_3 และ ammonium citrate ซึ่งใช้ในวิธีSoil flushing พบว่า ในดินที่ปนเปื้อนตะกั่วสูง (1,619 ppm) จะพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของ EDTA กับ HNO_3 มีค่าใกล้เคียงกัน (84-85%) อย่างไรก็ตามในกรณีของดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่วต่ำ (153 ppm) พบว่าEDTA มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้ดีกว่าHNO_3 10% และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากดินพบว่า ammonium citrate มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากดินน้อยกว่า HNO_3 และ EDTA 10% ซึ่งประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดในการกำจัดตะกั่วออกจากดินเรียงตามลำดับได้ดังนี้ EDTA(2 : 1 mole Pb) $\approx$ 1M HNO_3 $>$ 0.2 M ammonium citrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่ว โดยใช้กรดไนตริก

Author	Soil	Extractant,time,L/S	%metal removed Pb
Andersson	Heavy clay	2N HNO_3 , 2 h, L/S = 10, 100 ^{0}C	85 88
Farrah	Illite Kaolinite	0.1N HNO_3 } 24h. 0.1N HNO_3 } L/S = 2000	70-85 100
Kiekens	Calcareous Heavy clay	0.1N HNO_3 } 0.5N HNO_3 } L/S = 5	42 54
Randall	Clay loam	4N HNO_3 12 hr. , L/S = 20	78
Rietz	various	0.1N HNO_3 } 2 hr. 0.5N HNO_3 } L/S = 10	65-85 85
Staiger	various	1.5N HNO_3 30 นาที L/S = 10 , 100 ^{0}C	100

ที่มา Tuin and Tels , (1990)

3.12 ค่ามาตรฐานและค่าวิกฤตของตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินสำหรับการบำบัดดิน

ในบางพื้นที่ของเขตอุตสาหกรรม และบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงที่ทิ้งขยะอันตรายนั้นความเป็นพิษของสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน และแหล่งน้ำใต้ดินเป็นเครื่องชี้ถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพของบุคคลที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง จึงมีการกำหนดค่ามาตรฐานที่จะตัดสินว่าพื้นที่ดังกล่าวควรที่จะทำการพัฒนาหรือกำจัดสารพิษออกจากดิน โดยประเทศเนเธอร์แลนด์ (Dutch authorities) ได้กำหนดค่าระดับการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดิน โดยโลหะในดินจะสัมพันธ์กับ % clay และ ปริมาณอินทรียวัตถุในดินตามลำดับ ดังตารางที่ 3.3 โดยค่า A เป็นระดับอ้างอิง B คือ ค่าที่มีการปนเปื้อนที่ควรจะทำการกำจัดและระดับค่า C เป็นค่าที่มีการปนเปื้อนถึงระดับที่ควรจะบำบัดสารที่ปนเปื้อนในดิน

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินที่ไม่ควรเกินค่ามาตราฐาน โดย โดยประเทศเนเธอแลนด์ (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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21127

4. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) เครื่องมือวิทยาศาสตร์

1) Atomic Absorption Spectrophotometer (Model Hitachi Z8200)
2) Distillation apparatus (Gerhardt Model Vapodest 2)
3) EC meter (Model HI 8733)
4) pH meter (Model HI 8424)
5) Sieve shaker (ORTO-ALRESA Model TA 002)
6) เครื่อง centrifuge (KOKUSAN Model H-103N)
7) เครื่องเขย่า (INNOVA 23000)
8) เครื่องชั่ง (SORTORIUS Model BP 121S, BP 3100S)

(2) เครื่องแก้วและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ต่างๆ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

(3) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1) Acidified sodium chloride

2) Ammonium acetate

3) Ascobic acid

4) Boric acid – indicator solution

5) Bromocresol green

6) Buffer pH 4 , pH 7

7) Ethyl alcohol

8) Ferrous sulfate

9) Methyl red

10) Mixed acid (HNO_3 : $HClO_4$)

11) Nitric acid

12) O-phenanthroline indicator

13) Potassium dichromate

14) Sodium chloride

15) Sodium hydroxide

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

17) Sulfuric acid

18) น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สถานที่ทำการทดลอง

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

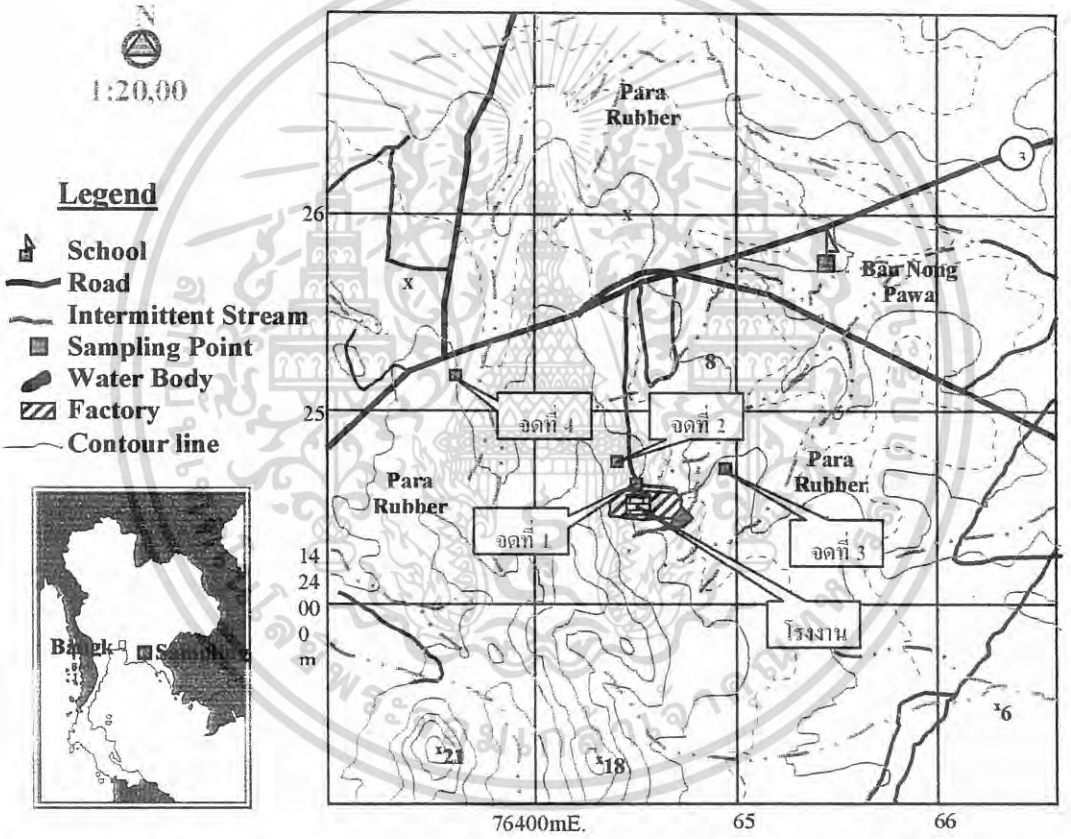
จุดที่ 1 ติดกับโรงงาน

จุดที่ 2 ห่างจากโรงงานประมาณ 100 เมตร

จุดที่ 3 ห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร

จุดที่ 4 ห่างจากโรงงานประมาณ 1000 เมตร (จุดอ้างอิง)

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



รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงที่ตั้งโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าและตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

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

4.4 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

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

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

โดยขนาดมากกว่า 2 mm. ไม่นำมาใช้ในการทดลอง

4.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์

4.5.1 วิเคราะห์คุณสมบัติเคมีเบื้องต้นของดิน

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

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

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

(4) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ชั่งดินโดยแบ่งแต่ละอนุภาคตามนี้ <2.0 mm. ประมาณ 1.5 g., 0.5 mm. ประมาณ 3.0 g., 0.1 mm.และ <0.1 mm. ประมาณ 1.0 g. บรรจุดินใน leaching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

tube ที่รองก้นด้วย filter pulp (กระดาษกรองชิ้นเล็กๆ ต้มในน้ำเดือดจนยุ่ยแล้ว) ชะดินด้วยสารละลาย NH_4OAc pH 7.0 100 ml. จนดินอิ่มตัวด้วย NH_4^+ (saturation) ล้าง NH_4OAc ส่วนเกินด้วย ethyl alcohol 100 ml. และแทนที่ NH_4^+ ด้วย acidified NaCl 100 ml. นำสารละลายที่ได้ไปกลั่นด้วย NaOH โดยใช้ H_3BO_3 จับปริมาณ NH_4^+ จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับ H_2SO_4 จนสารละลายเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง นำค่าที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณหาค่า CEC

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

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

การเตรียม standard solution Na ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ppm จาก stock standard solution 50 ppm โดยการดูด stock standard solution มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ใส่ลงในแต่ละ volumetric flasks ขนาด 50 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 50 มล.

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 วิเคราะห์หาปริมาณ Total Pb ที่มีอยู่ในดิน

ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนทั้งหมดในดิน วิเคราะห์ได้โดยใช้กรดไน- ตริก และกรดเปอร์คลอริก ด้วยวิธี wet digestion ตามวิธีของ Michael., 1996 (แสดงในรูปที่ 4.2) ดังนี้

(1) ชั่งตัวอย่างดิน 1 g ใส่ลงในหลอด digest tube

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

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

(4) หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มล. ด้วยน้ำกลั่น

(5) นำไปวัดหาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

4.6 ขั้นตอนการสกัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีล้างดิน (soil washing)

การสกัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้น้ำยาสกัดคือ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัดที่ความเข้มข้นแตกต่างกันดังนี้ 0.05 N, 0.1 N, 0.2 N, 0.5N, 1.0 Nและ 2.0 N ซึ่งมีวิธีการทำดังนี้ (แสดงไว้ในรูปที่ 4.3)

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

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

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

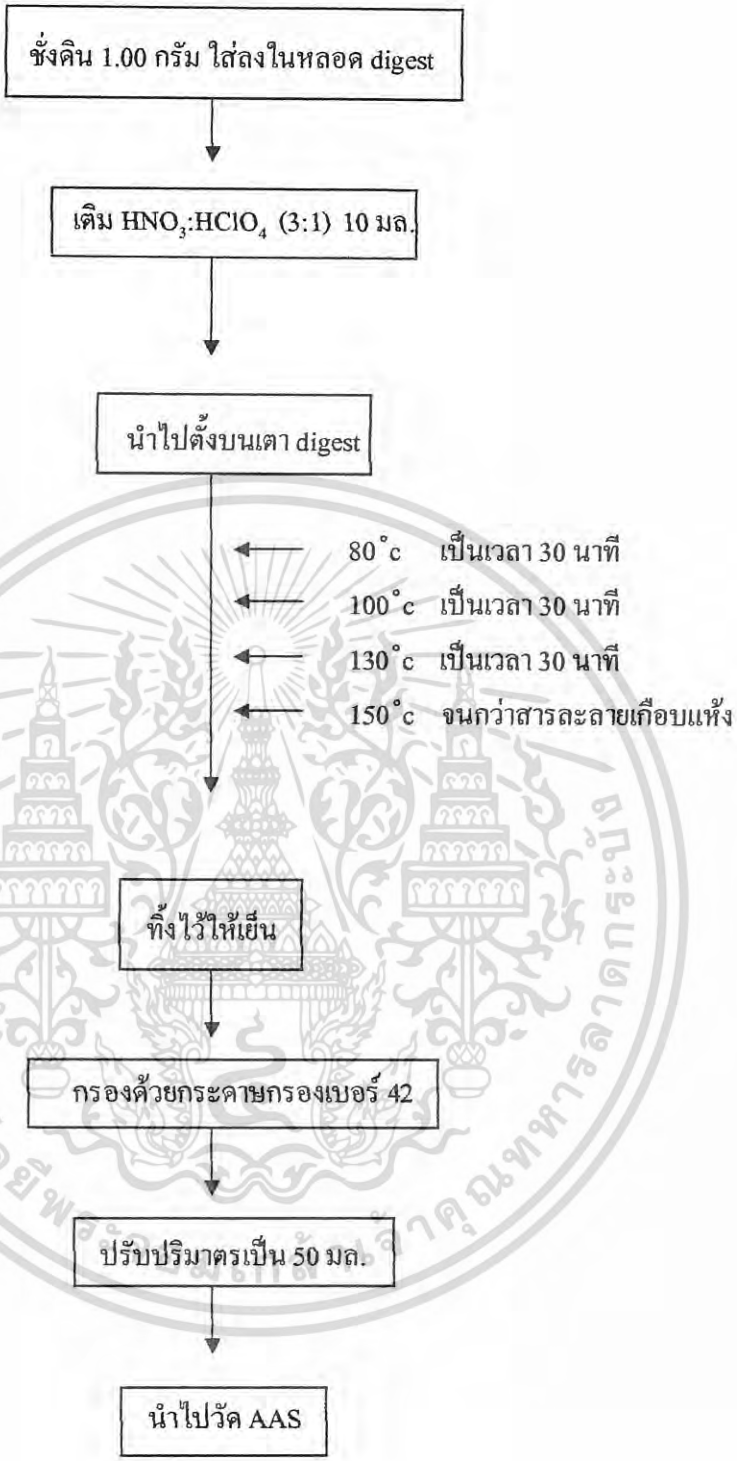
(3) นำไปวัด pH (Model HI 8424)

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

(5) กรองตัวอย่างดินด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

(6) นำไปวัดปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ด้วยเครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการสกัดตะกั่วออกจากดินโดยวิธีการล้างดิน (soil washing)

4.7 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยาสกัด HNO_3

ทำการเตรียมน้ำยาสกัดโดยเตรียมที่ความเข้มข้น 0.05 N, 0.1 N, 0.2 N, 0.5 N, 1.0 N, 2.0 N โดยการตวง HNO_3 เข้มข้นมาประมาณ 3.57, 7.14, 14.29, 35.71, 71.43, 142.86 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) เปรียบเทียบประ- สิทธิภาพการสกัดตะกั่วในแต่ละความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลการทดลอง

5.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 1

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

ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 2

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 3

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

ตารางที่ 5.4 คุณสมบัติทางเคมีของดินจุดที่ 4

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

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

5.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

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

5.4 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ออกจากดินโดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

(1) ดินจุดที่ 1 (ดินบริเวณโรงงานที่มีการปนเปื้อนอย่างรุนแรง)

(1.1) ดินบน (0-15 cm)

จากตารางที่ 5.6 พบว่า ขนาดอนุภาค < 2 mm ที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 2 N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้มากที่สุด (97.82%) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ความเข้มข้น 1 N (96.4%) ในขนาดอนุภาค 0.5 mm และ 0.1 mm พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 2 N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้มากที่สุด (65.5% และ 83.0% ตามลำดับ) ส่วนขนาดอนุภาค < 0.1 mm พบว่าความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ 2 N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วออกมาได้มากที่สุดถึง 98.92% รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้น 1 N (94.25%)

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าอนุภาคขนาด < 2 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอนุภาคขนาด < 0.1 mm รองลงมาคือ อนุภาคขนาด 0.1 mm และอนุภาคขนาด 0.5 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำที่สุด

(1.2) ดินล่าง (15-30 cm)

จากตารางที่ 5.7 จะเห็นว่าขนาดอนุภาค 0.5 mm มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้มากที่สุดถึง 88.9% ที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 2 N ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ความเข้มข้น 1 N (87.3%) ขนาดอนุภาค < 2 mm , 0.1 mm และ < 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้มากที่สุดที่ความเข้มข้น 2 N โดยมีค่า 52.0 % , 26.0% , และ 25.0 % ตามลำดับ และที่ความเข้มข้น 1N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วรองลงมาโดยที่ขนาดอนุภาค < 2 mm ,0.1 mm ,และ < 0.1 mm มีค่า 49.1% , 24.5% , และ 15.5% ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.2 พบว่า ขนาดอนุภาค 0.5 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้มากที่สุด รองลงมาคือ ขนาดอนุภาค < 2 mm และขนาดอนุภาค 0.1 mm และ < 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วต่ำที่สุดและมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วใกล้เคียงกัน และจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริกจะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มสูงมากขึ้น

(2) ดินจุดที่ 2 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร)

(2.1) ดินบน (0-15 cm)

จากตารางที่ 5.8 จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 2 N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้สูงที่สุดในทุกขนาดอนุภาค ยกเว้นขนาดอนุภาค0.5 mm ที่ความเข้มข้น 1N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้มากที่สุด(86.1%) รองลงมาคือที่ความเข้มข้น 2 N (83.0%) โดยที่ประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วออกจากดิน ที่ความเข้มข้น 2 N ในขนาดอนุภาค < 2 mm , 0.5 mm และ 0.1 mm มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่า 88.0% , 83.0 % และ 87.8 % ส่วนขนาดอนุภาค < 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วออกมาได้ต่ำเพียง 9.0 % เท่านั้น

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าขนาดอนุภาค < 2 mm , 0.5 mm และ 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้มากที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดอนุภาค < 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วต่ำที่สุด

(2.2) ดินล่าง (15-30 cm)

ขนาดอนุภาค < 2 mm พบว่าความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ 2 N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้มากที่สุด (45.9 %) รองลงมาคือ ความเข้มข้นที่ 1 (44.5%) และจะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนขนาดอนุภาค 0.1 mm พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 2 N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้มากกว่าอนุภาคขนาดอื่นๆโดยมีค่าในการสกัดคือ 89.07% รองลงมา คือ ที่ความเข้มข้น 1 N ,0.5 N ,0.2 N, 0.1 N และ 0.05 N โดยมีค่าในการสกัดตะกั่ว 75.8% , 60.6% , 49.2 % , 45.1% และ 40.8% ตามลำดับ และขนาดอนุภาค 0.5 mm และ < 0.1mm มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้มากที่สุดที่ความเข้มข้น 2 N โดยมีค่าในการสกัดตะกั่วเท่ากัน (32.9%) ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 5.9

จากรูปที่ 5.4 จะเห็นว่าขนาดอนุภาค 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้มากที่สุด ส่วนขนาดของอนุภาค < 2 mm , 0.5 mm , และ < 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้ใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริกประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ดินจุดที่ 3 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร)

(3.1) ดินบน (0-15 cm)

จากตารางที่ 5.10 จะเห็นว่าในขนาดอนุภาค 0.1 mm พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 2 N สามารถสกัดตะกั่วออกมาได้มากที่สุด (40.2%) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ความเข้มข้น 1 N และ 0.5 N โดยมีค่าในการสกัดตะกั่วคือ 39.3% และ 38.6% ตามลำดับ ในขนาดอนุภาค 0.5 mm พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 1 N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วออกมาได้มากที่สุด (43.2%) รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้น 2 N (38.2%) ในขณะที่ขนาดอนุภาค < 0.1 mm และ < 0.1mm พบว่าความเข้มข้นของกรดไนตริก 2 N มีประสิทธิภาพในการสกัดได้มากที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าในการสกัดตะกั่ว 29.2% และ 25.9% ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าที่ขนาดอนุภาค 0.5 mm และ 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้สูงที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดอนุภาคที่ < 2 mm และ < 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้รองลงมาและมีค่าใกล้เคียงกัน

(3.2) ดินล่าง (15-30 cm)

จะเห็นว่าทุกขนาดของอนุภาคที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 2N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้ดีที่สุด โดยขนาดอนุภาค 0.5 mm มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วสูงตะกั่วมากที่สุดถึง 61.8% รองลงมาคือ ขนาดอนุภาค < 2 mm สามารถสกัดตะกั่วได้ 40.9% ในขณะที่ขนาดอนุภาค 0.1 mm และขนาดอนุภาค < 0.1 mm มีค่าในการสกัดใกล้เคียงกันคือ 30.7% และ 34.1% ตามลำดับ และในขนาดอนุภาค < 2 mm, 0.5 mm และ 0.1 mm ที่ความเข้มข้น 1 N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้รองลงมา โดยมีค่าในการสกัด คือ 34.1%, 60.0% และ28.3% ตามลำดับ ยกเว้นที่ขนาดอนุภาค < 0.1 mm ที่ความเข้มข้น 0.5 N พบว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วรองลงมา(24.7%) ดังเห็นได้จากตารางที่ 5.11

จากรูปที่ 5.6 พบว่าขนาดอนุภาค 0.5 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้มากที่สุด (61.75%) ส่วนขนาดอนุภาค < 2 mm , 0.1 mm และ < 0.1 mm มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริก จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มสูงขึ้น

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

(4.1) ดินบน (0-15 cm)

จากตารางที่ 5.12 พบว่าขนาดอนุภาค < 2 mm และ 0.1mm มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วออกจากดินได้มากที่สุด ที่ความเข้มข้น1N โดยมีค่าในการสกัดตะกั่ว 85.7% และ 65.9% ตามลำดับ รองลงมา คือ ที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 2 N โดยขนาดอนุภาค < 2 mm สามารถสกัดตะกั่วได้ 78.0% และขนาดอนุภาค 0.1 mm สามารถสกัดได้ 63.0% ในขณะที่ขนาดอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.5 mm และขนาดอนุภาค < 0.1 mm ที่ความเข้มข้น 2 N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วออกมาได้มากที่สุด โดยมีค่าในการสกัดตะกั่ว คือ 78.6% และ 80.0% ตามลำดับ รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้น 1N ขนาดอนุภาค 0.5 mm สามารถสกัดตะกั่วได้ 75.9% และขนาดอนุภาค < 0.1 mm สามารถสกัดตะกั่วได้ 75.9% และขนาดอนุภาค < 0.1 mm สามารถสกัดตะกั่วได้ 78.4%

จากรูปที่ 5.7 จะเห็นว่าทุกขนาดอนุภาค มีประสิทธิภาพในการกำจักตะกั่วได้ใกล้เคียงกัน แต่ในขนาดอนุภาค < 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้ต่ำกว่าขนาดอนุภาคอื่นๆเล็กน้อย

(4.2) ดินล่าง (15-30 cm)

จะเห็นว่าทุกขนาดของอนุภาค ที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 2 N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วออกมาได้มากที่สุด โดยที่ขนาดอนุภาค < 2 mm มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้มากที่สุด (72.2%) , ขนาดอนุภาค < 0.1 mm มีประสิทธิในการสกัดตะกั่วได้รองลงมา (56.37%) , ขนาดอนุภาค 0.1mm มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่ว(36.4%)และที่ขนาดอนุภาค0.5 mmมีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้ต่ำที่สุด(35.6%) และทุกขนาดของอนุภาคที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 1N สามารถสกัดตะกั่วได้รองลงมา ยกเว้นขนาดอนุภาค 0.5 mm ที่ความเข้มข้น 0.2 N มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้รองลงมา(29.3%) ดังแสดงในตารางที่ 5.13

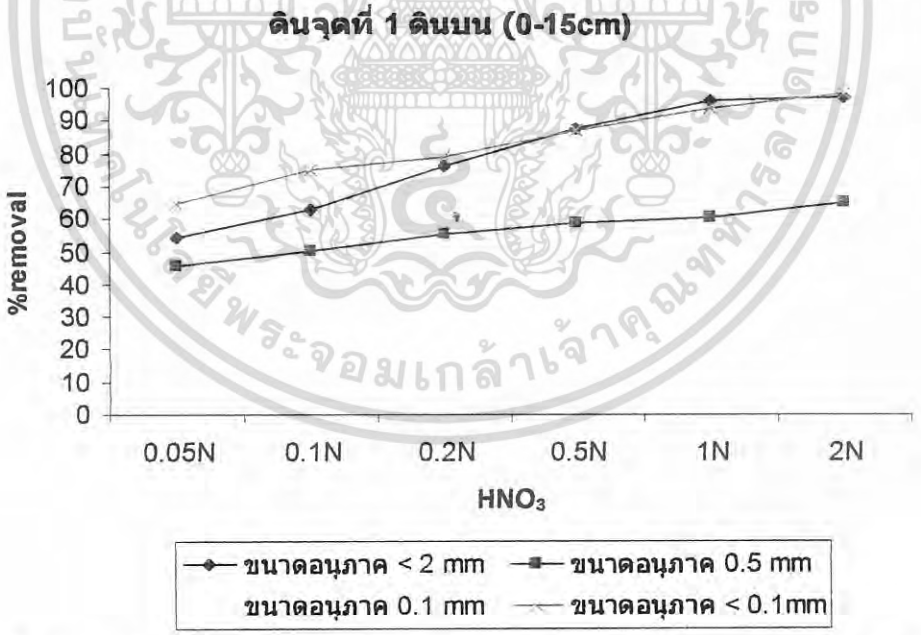
ทุกขนาดของอนุภาคในช่วงของความเข้มข้นของกรดไนตริก(0.05N-0.2N) มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้ใกล้เคียงกัน แต่ทุกขนาดของอนุภาคในช่วงของความเข้มข้นของกรดไนตริก (0.5N-2N) มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้แตกต่างกัน โดยที่ขนาดอนุภาค < 2 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้มากที่สุด ส่วนขนาดอนุภาค 0.5 mm , 0.1 mm และ < 0.1 mm มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้ใกล้เคียงกัน จากกราฟที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 1ดินบน (0-15 cm)				
conc(HNO_3)	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm	0.5 mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	54.1e	45.9e	49.8e	64.9f
0.1N	62.9d	50.3d	57.2d	75.3e
0.2N	76.5c	55.8c	66.3c	79.2d
0.5N	87.9b	59.2b	77.2b	87.1c
1N	96.4a	60.7b	75.6b	94.3b
2N	97.8a	65.5a	83.0a	98.9a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



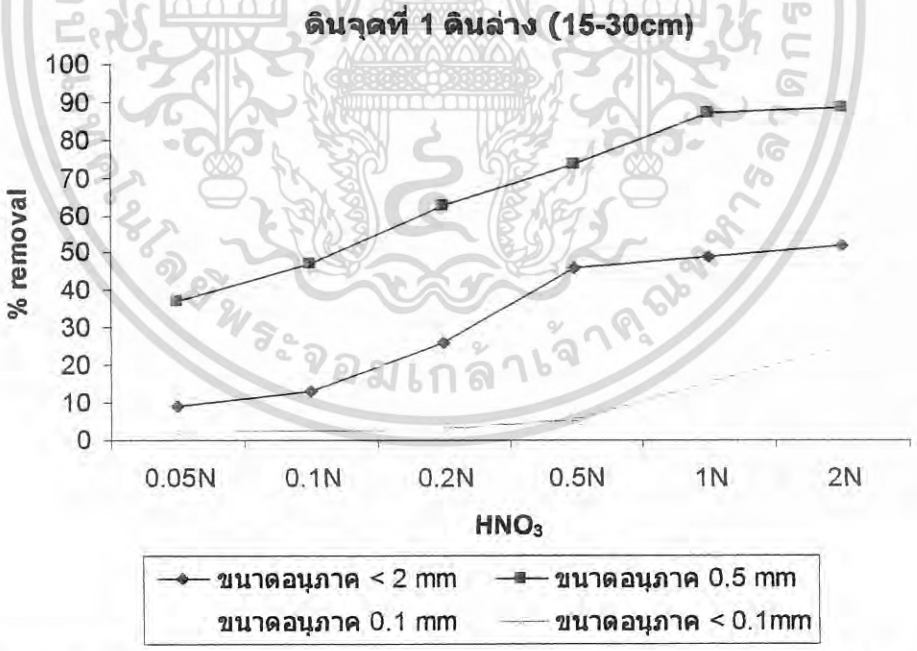
รูปที่ 5.1 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30cm)				
conc(HNO_3)	ขนาดอนุภาค			
	<2 mm	0.5 mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	9.2f	37.1e	15.9e	1.8d
0.1N	13.0e	47.3d	18.5d	2.8d
0.2N	26.3d	63.1c	21.2c	3.0d
0.5N	46.2c	74.0b	22.1c	5.5c
1N	49.1b	87.3a	24.5b	15.5b
2N	52.0a	88.9a	26.0a	25.0a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



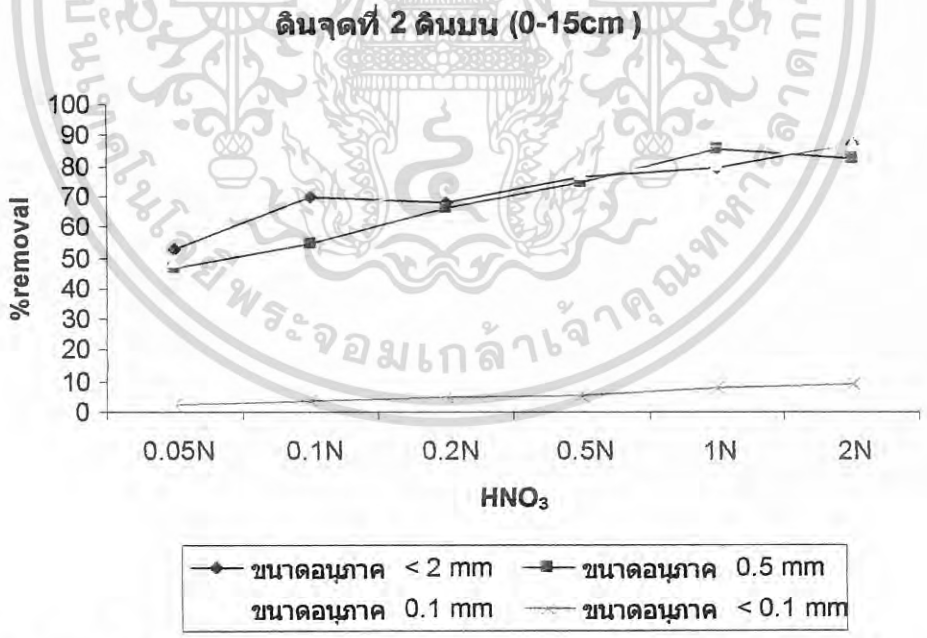
รูป 5.2 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจาก ดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 2 ดินบน(0-15 cm)				
conc(HNO_3)	ขนาดอนุภาค			
	<2mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	53.0f	46.3f	48.9f	2.3e
0.1N	70.0d	54.8e	64.1e	3.8d
0.2N	68.0e	66.1d	73.7d	4.7c d
0.5N	76.9c	74.9c	77.7c	5.5c
1N	79.8b	86.1a	80.9b	7.7b
2N	88.0a	83.0b	87.8a	9.0a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



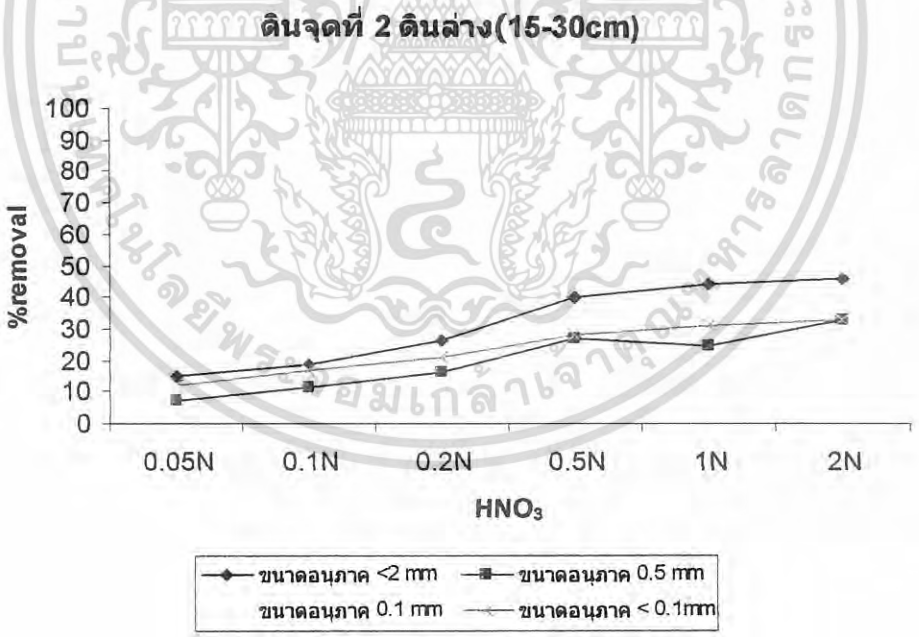
รูปที่ 5.3 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจาก ดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจาก ดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 cm)				
conc(HNO_3)	ขนาดอนุภาค			
	<2mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	14.7e	7.0f	40.8f	11.8f
0.1N	18.6d	11.7e	45.1e	17.1e
0.2N	26.5c	16.0d	49.2d	21.2d
0.5N	40.1b	27.1b	60.6c	28.2c
1N	44.5a	24.8c	75.8b	31.0b
2N	45.9a	32.9a	89.1a	32.9a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



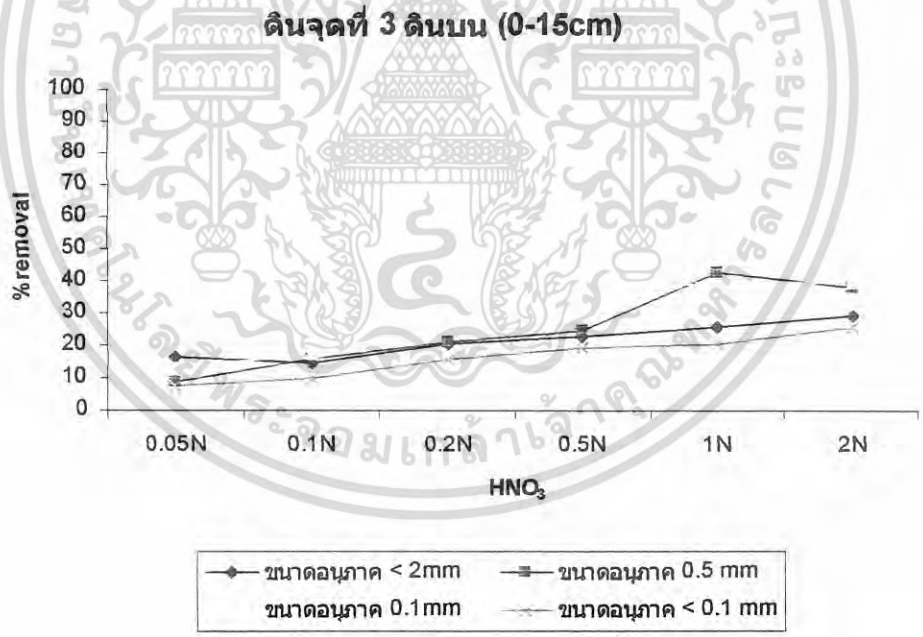
รูปที่ 5.4 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจาก ดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30 cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจาก ดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15 cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15cm)				
conc(HNO_3)	ขนาดอนุภาค			
	<2mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	16.3d	9.0f	12.8d	7.9e
0.1N	14.5d	15.9f	17.5c	9.7d
0.2N	20.8c	21.0e	26.8b	16.2c
0.5N	23.0c	24.9d	38.6a	19.6b
1N	25.9b	43.2a	39.3a	20.3b
2N	29.2a	38.2b	40.2a	25.9a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



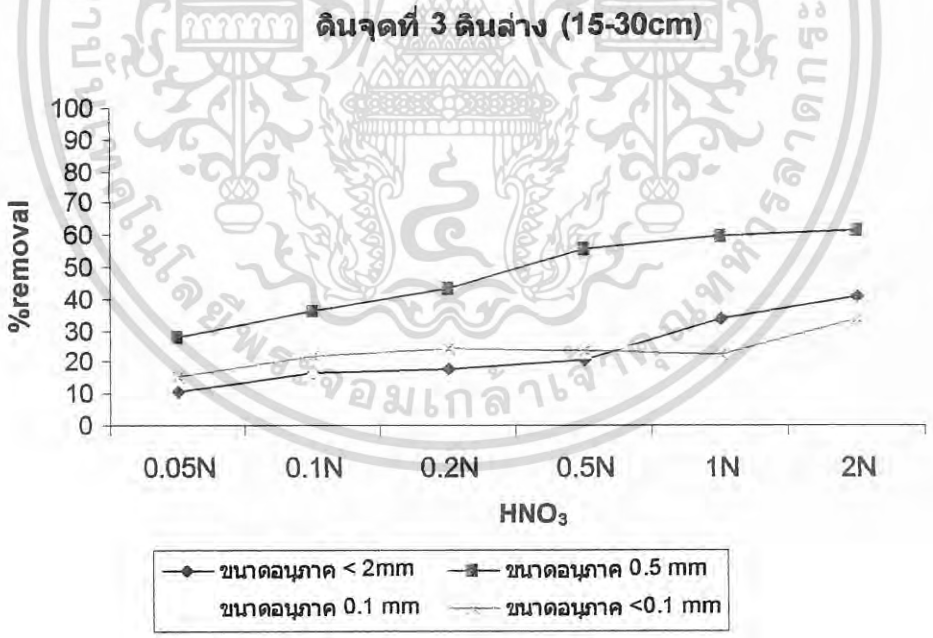
รูปที่ 5.5 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจาก ดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15 cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจาก ดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 3 ดินล่าง(15-30cm)				
conc(HNO_3)	ขนาดอนุภาค			
	<2mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	10.6e	27.8f	14.7f	15.6e
0.1N	16.7d	36.0e	17.3e	22.0d
0.2N	17.7d	43.6d	24.9c	24.7b
0.5N	21.1c	55.8c	23.0d	23.8b c
1N	34.1b	60.0b	28.3b	22.8c d
2N	40.9a	61.8a	30.7a	34.1a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



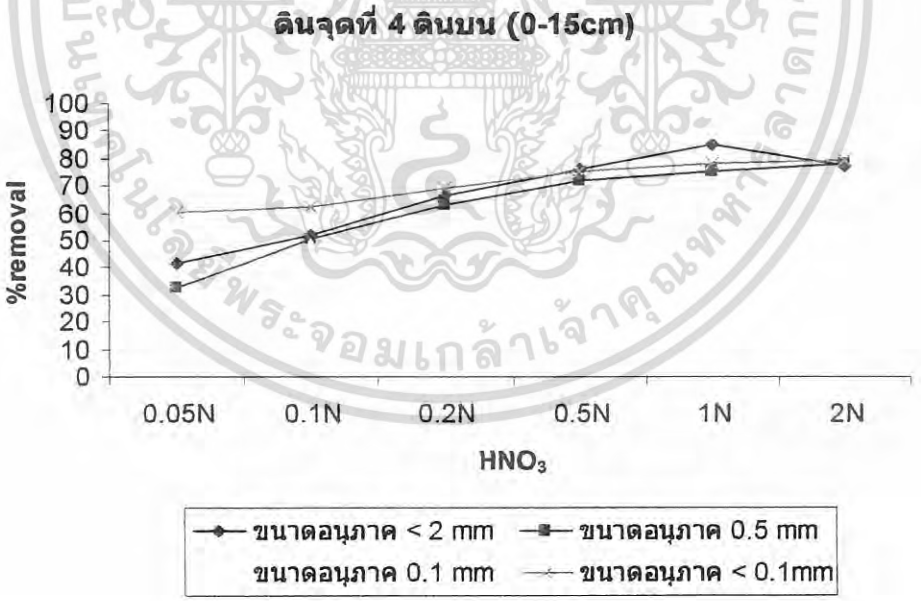
รูปที่ 5.6 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจาก ดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15cm)				
conc (HNO_3)	ขนาดอนุภาค			
	<2mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	42.0f	32.8f	25.3f	60.7f
0.1N	51.9e	50.8e	48.6e	62.7e
0.2N	67.0d	63.1d	57.5d	69.7d
0.5N	76.3c	72.1c	60.7c	75.8c
1N	85.7a	75.9b	65.9a	78.4b
2N	78.0b	78.6a	63.0b	80.0a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



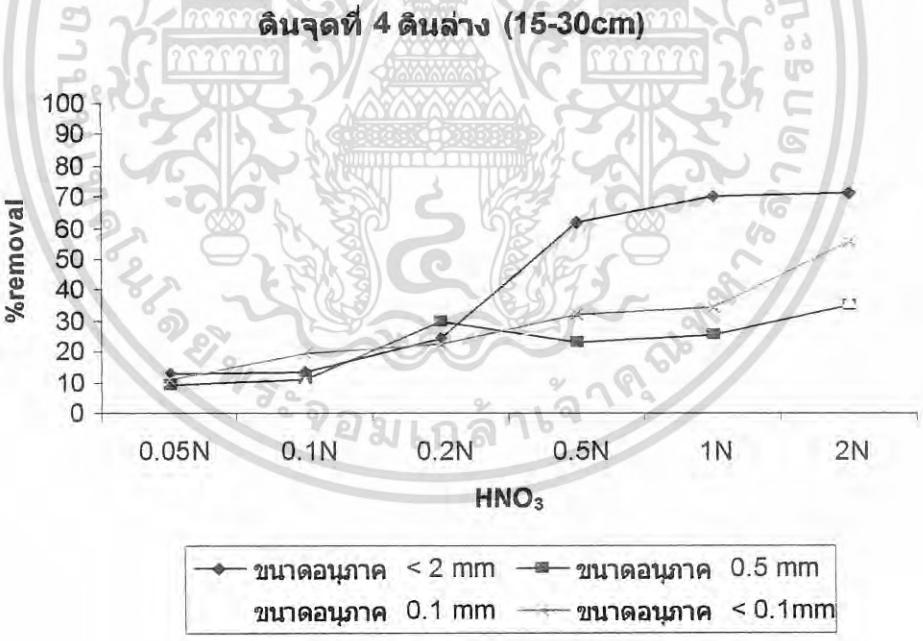
รูปที่ 5.7 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30cm)				
conc(HNO_3)	ขนาดอนุภาค			
	<2mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	12.5e	9.2f	2.3f	11.0f
0.1N	13.7e	11.0e	9.5e	19.7e
0.2N	24.6d	29.8b	16.0d	22.8d
0.5N	62.1c	23.0d	31.8c	32.0c
1N	70.9b	25.8c	33.9b	34.5b
2N	72.2a	35.6a	36.4a	56.4a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



รูปที่ 5.8 ประสิทธิภาพในการสกัด Pb ออกจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5ผลการทดลอง ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

(1) ดินจุดที่ 1 (ดินบริเวณโรงงานที่มีการปนเปื้อนอย่างรุนแรง)

(1.1) ดินบน (0-15cm)

จากตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.9 พบว่าดินมีฤทธิ์เป็นกรดรุนแรงมาก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-1.54 โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรด จะยิ่งเพิ่มความรุนแรงของความเป็นกรดในดิน ในกรณีที่ความเข้มข้น 1 N มีฤทธิ์เป็นกรดรุนแรงเพิ่มขึ้น แต่ในกรณีของความเข้มข้นที่ 2 N มีฤทธิ์ความเป็นกรดลดลงเล็กน้อย

(1.2) ดินล่าง (15-30 cm)

จากตารางที่ 5.15 และรูปที่ 5.10 พบว่าดินมีฤทธิ์เป็นกรดรุนแรง มีค่าอยู่ในช่วง 0.5-1.1 และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรด จะยิ่งเพิ่มความรุนแรงของความเป็นกรดในดิน โดยที่ความเข้มข้นของกรดที่ 2 N มีฤทธิ์เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด

(2) ดินจุดที่ 2 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร)

(2.1) ดินบน (0-15cm)

จากตารางที่ 5.16 และรูปที่ 5.11 พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มความเข้มข้นของกรด จะยิ่งเพิ่มความรุนแรงของความเป็นกรดในดินมากขึ้น และทุกขนาดของอนุภาค พบว่าดินมีฤทธิ์ความเป็นกรดรุนแรง มีค่าอยู่ในช่วง 0.2-0.9

(2.2) ดินล่าง (15-30cm)

จากตารางที่ 5.17 และรูปที่ 5.12 พบว่า ดินมีฤทธิ์เป็นกรดรุนแรงมาก มีค่า pH อยู่ในช่วง 0.3-1.2 และจะเห็นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรด จะยิ่งเพิ่มความรุนแรงของความเป็นกรดในดิน ในความเข้มข้นที่ 1 N มีฤทธิ์เป็นกรดรุนแรงเพิ่มขึ้น แต่ในกรณีของความเข้มข้นที่ 2 N มีฤทธิ์ความเป็นกรดลดลง

(3) ดินจุดที่ 3 (ดินบริเวณห่างจากโรงงานประมาณ 400 เมตร)

(3.1) ดินบน (0-15cm)

จากตารางที่ 5.18 และรูปที่ 5.13 พบว่า ทุกขนาดของอนุภาค ดินมีฤทธิ์เป็นกรดรุนแรงมาก ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วง 0.3-1.0 และจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของกรดยิ่งเพิ่มมากขึ้น จะยิ่งเพิ่มความรุนแรงของความเป็นกรดในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3.2) ดินล่าง (15-30cm)

จากตารางที่ 5.19 และรูปที่ 5.14 พบว่า ทุกขนาดของอนุภาค ดินมีฤทธิ์เป็นกรดรุนแรงมาก ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วง 0.1-0.8 และจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของกรดยิ่งเพิ่มมากขึ้น จะยิ่งเพิ่มความรุนแรงของความเป็นกรดในดิน

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

(4.1) ดินบน (0-15cm)

จากตารางที่ 5.20 และรูปที่ 5.15 พบว่า ทุกขนาดของอนุภาค ดินมีฤทธิ์เป็นกรดรุนแรงมาก ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วง 0.2-0.9 และจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของกรดยิ่งเพิ่มมากขึ้น จะยิ่งเพิ่มความรุนแรงของความเป็นกรดในดิน และที่ความเข้มข้น 2 N มีฤทธิ์ความเป็นกรดรุนแรงมากที่สุด

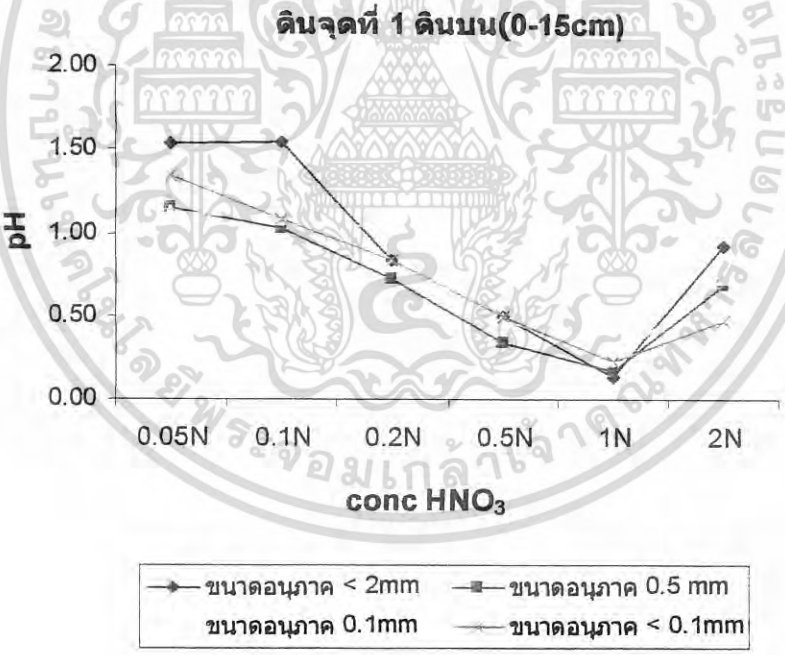
(4.2) ดินล่าง (15-30cm)

จากตารางที่ 5.21 และรูปที่ 5.16 พบว่าทุกขนาดของอนุภาค ดินมีฤทธิ์เป็นกรดรุนแรงมาก ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วง 0.3-0.8 และจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของกรดยิ่งเพิ่มมากขึ้น จะยิ่งเพิ่มความรุนแรงของความเป็นกรดในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.14 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15cm)				
	ขนาดอนุภาค			
conc HNO_3	<2 mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	1.54	1.15	1.13	1.35
0.1N	1.55	1.03	1.09	1.09
0.2N	0.84	0.72	1.03	0.84
0.5N	0.50	0.34	0.49	0.50
1N	0.14	0.17	0.24	0.23
2N	0.93	0.69	0.73	0.48

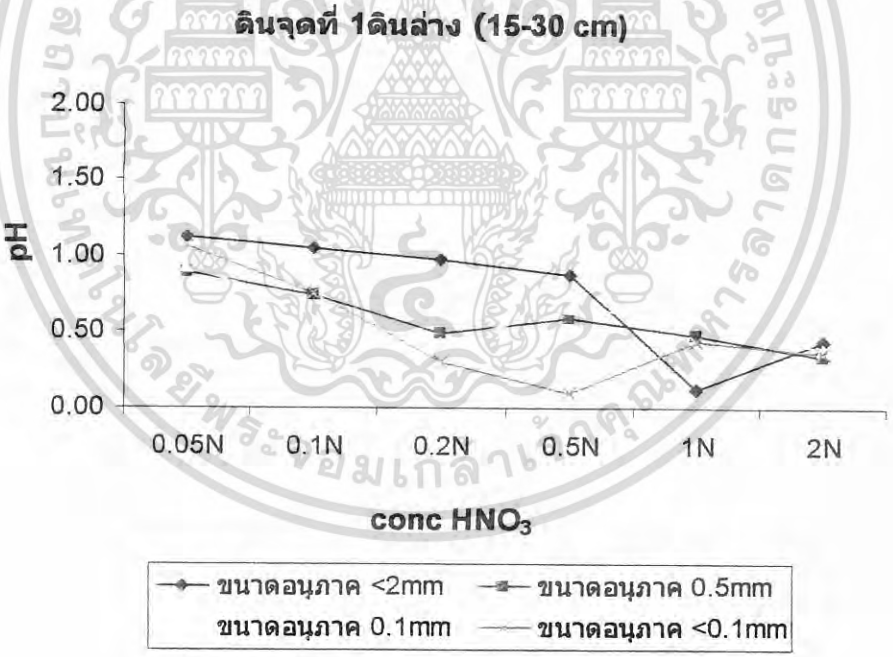


รูปที่ 5.9 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 1 ดินบน (0-15cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.15 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30 cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30cm)				
	ขนาดอนุภาค			
concHNO_3	<2mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	1.12	0.88	0.92	1.05
0.1N	1.04	0.73	0.64	0.75
0.2N	0.97	0.48	0.42	0.30
0.5N	0.87	0.58	0.66	0.10
1N	0.12	0.47	0.57	0.43
2N	0.44	0.33	0.39	0.36

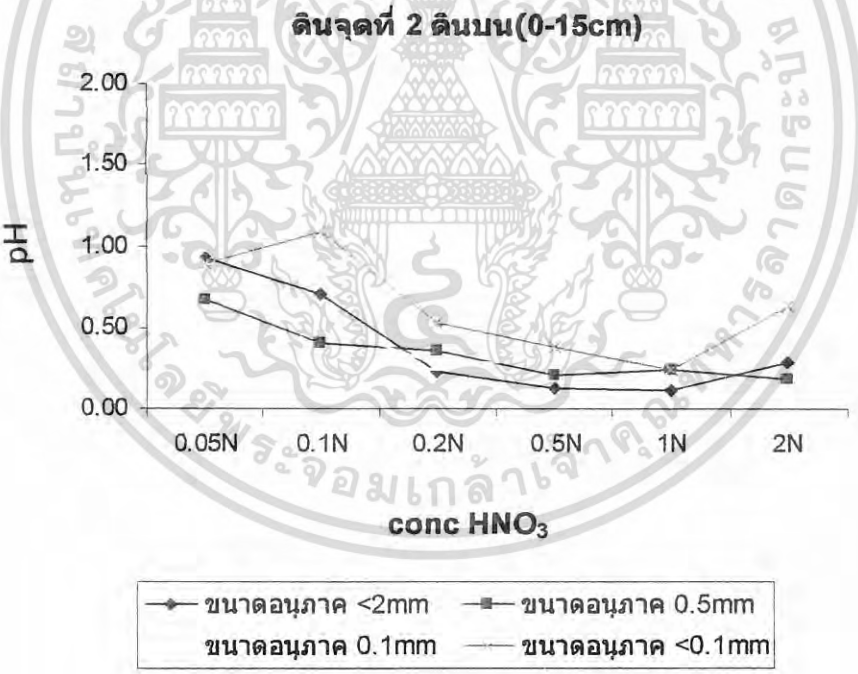


รูปที่ 5.10 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 1 ดินล่าง (15-30cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15 cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15cm)				
	ขนาดอนุภาค			
$concHNO_3$	<2mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	0.93	0.67	0.78	0.89
0.1N	0.70	0.41	0.52	1.09
0.2N	0.23	0.36	0.28	0.53
0.5N	0.13	0.21	0.30	0.38
1N	0.11	0.24	0.52	0.24
2N	0.29	0.19	0.41	0.64

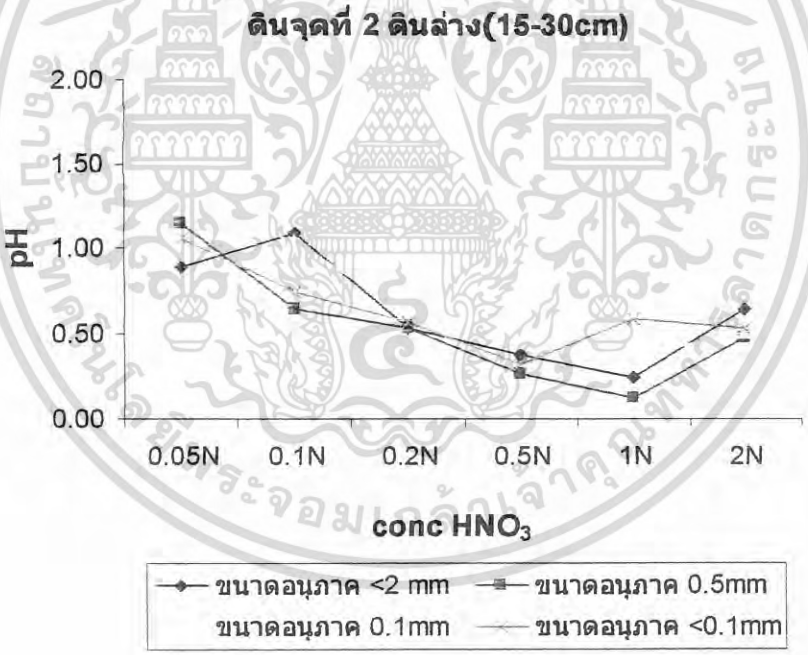


รูปที่ 5.11 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 2 ดินบน (0-15cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.17 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30cm)โดย HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30cm)				
	ขนาดอนุภาค			
$concHNO_3$	<2 mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	0.89	1.14	1.23	1.06
0.1N	1.09	0.64	1.04	0.75
0.2N	0.53	0.53	0.61	0.57
0.5N	0.38	0.27	0.50	0.32
1N	0.24	0.12	0.37	0.59
2N	0.64	0.48	0.51	0.53

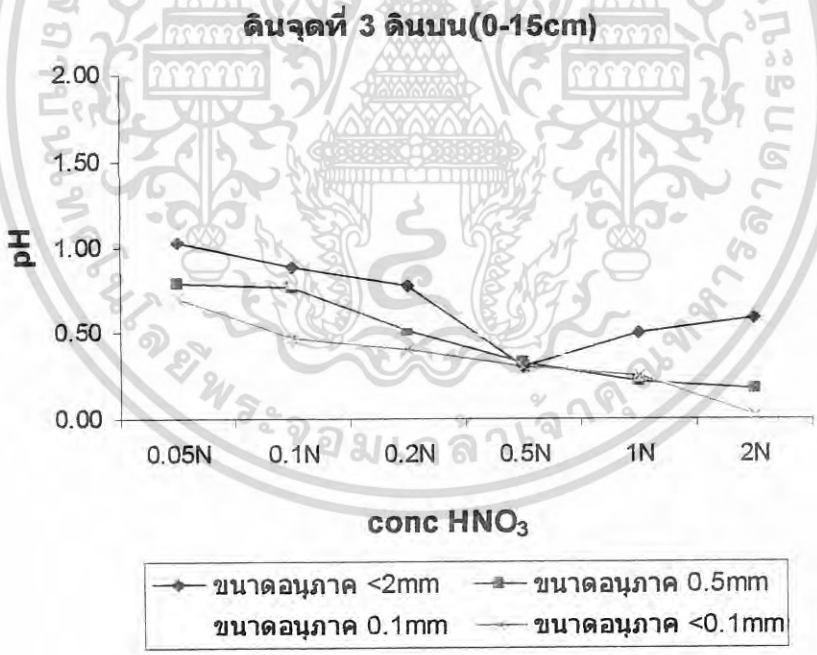


รูปที่ 5.12 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 2 ดินล่าง (15-30cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15cm)				
	ขนาดอนุภาค			
concHNO$_3$	<2mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	1.03	0.79	0.95	0.70
0.1N	0.88	0.76	0.80	0.47
0.2N	0.78	0.51	0.57	0.40
0.5N	0.31	0.33	0.44	0.31
1N	0.50	0.22	0.25	0.25
2N	0.59	0.17	0.07	0.02

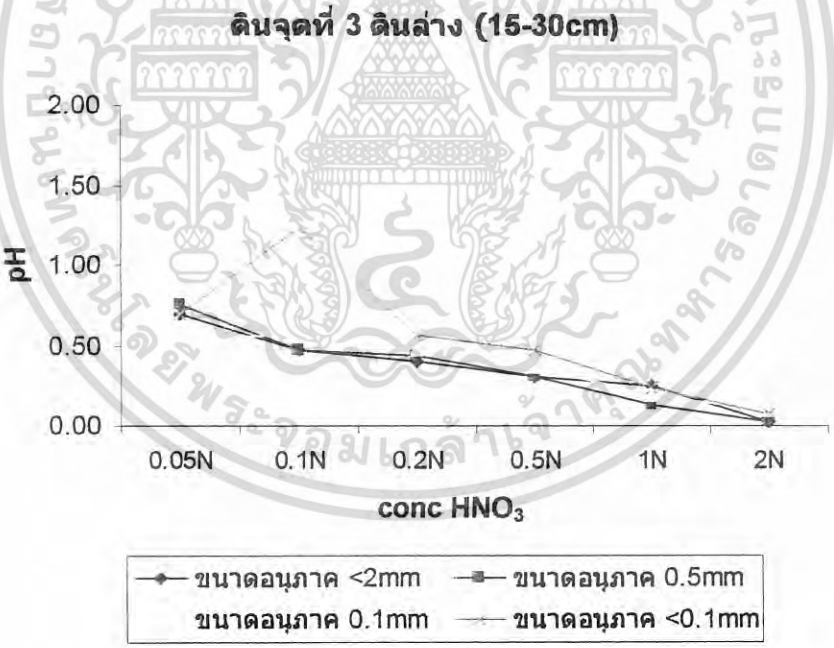


รูปที่ 5.13 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 3 ดินบน (0-15cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.19 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30cm)				
	ขนาดอนุภาค			
conc HNO_3	<2mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	0.70	0.75	0.53	0.70
0.1N	0.47	0.47	0.58	1.23
0.2N	0.40	0.43	0.47	0.57
0.5N	0.31	0.31	0.37	0.47
1N	0.25	0.13	0.19	0.23
2N	0.02	0.02	0.10	0.07

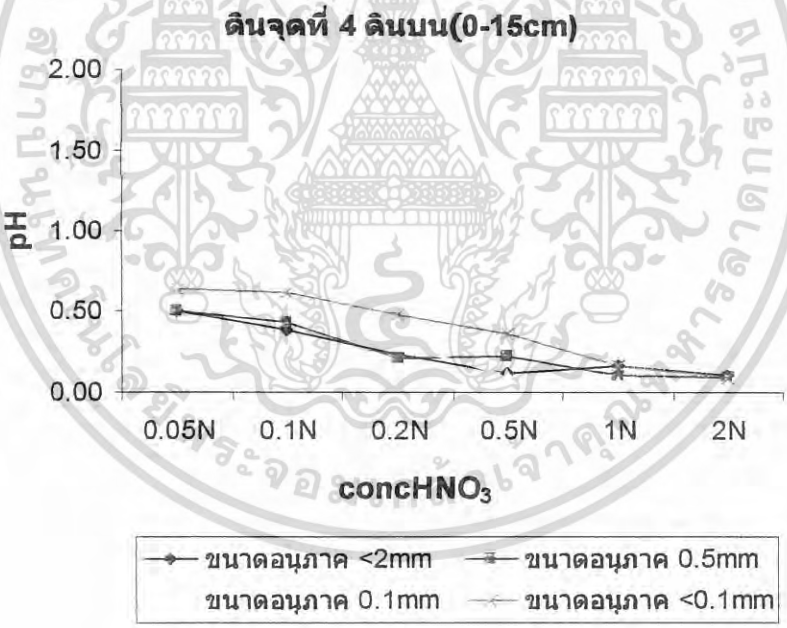


รูปที่ 5.14 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 3 ดินล่าง (15-30cm) โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.20 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15cm)				
	ขนาดอนุภาค			
$concHNO_3$	<2mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	0.50	0.50	0.90	0.64
0.1N	0.38	0.43	0.58	0.62
0.2N	0.23	0.21	0.29	0.48
0.5N	0.12	0.22	0.10	0.36
1N	0.16	0.10	0.06	0.16
2N	0.11	0.09	0.05	0.09

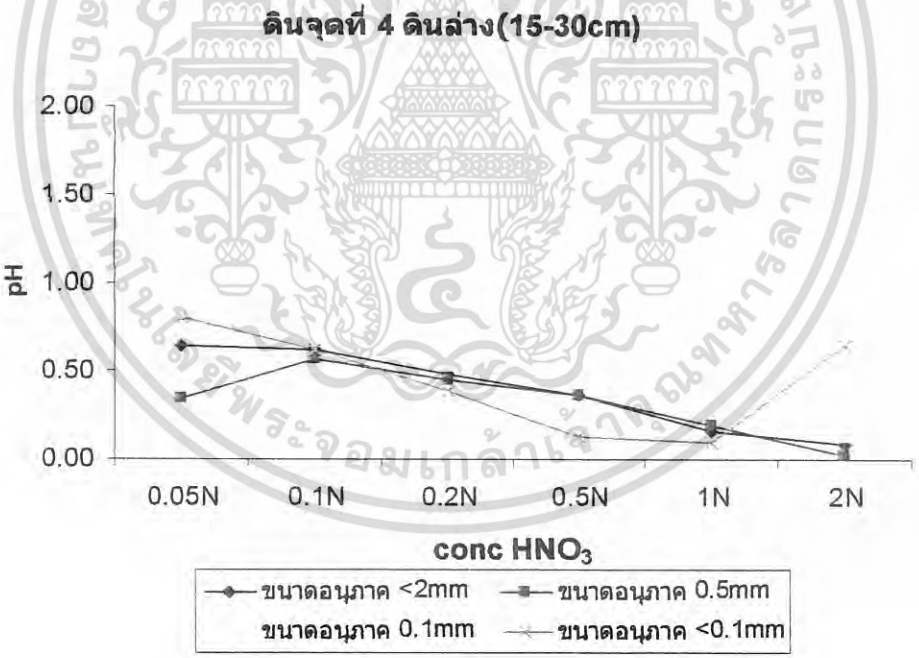


รูปที่ 5.15 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 4 ดินบน (0-15cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.21 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

ดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30cm)				
	ขนาดอนุภาค			
conc HNO_3	<2mm	0.5mm	0.1mm	<0.1mm
0.05N	0.64	0.34	0.77	0.80
0.1N	0.62	0.57	0.67	0.62
0.2N	0.48	0.45	0.54	0.39
0.5N	0.36	0.36	0.56	0.13
1N	0.16	0.19	0.43	0.10
2N	0.09	0.02	0.14	0.65



รูปที่ 5.16 pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วจากดินจุดที่ 4 ดินล่าง (15-30cm)โดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สรุปผลการทดลอง

(1.) คุณสมบัติทางเคมีของดิน ในดินทุกจุดทั้งดินบนและดินล่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในช่วงเป็นกรดจัด (4.60-5.70) ในส่วนของค่าการนำไฟฟ้ามีค่าต่ำ และมีปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) มีค่าต่ำ (0.33-2.22%) ส่วนความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ดินทุกจุดมีค่าต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ (1.74-6.36 me/100g soil) ยกเว้นดินจุดที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง (2.70-11.38 me/100g soil) และมีค่าด่างที่แลกเปลี่ยนได้ในดินทุกจุดทั้งดินบนและดินล่างมีค่าอยู่ในช่วงต่ำ

(2.) คุณสมบัติทางกายภาพของดิน ในดินทุกจุดเป็นดินร่วนปนทรายทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณ clay 15.4-17.8% ยกเว้นในดินบนที่จุดที่ 1 เป็นดินร่วนปนทรายมีปริมาณ clay 21.3% และในตัวอย่างดินมีอนุภาคทรายเป็นจำนวนมาก 60-75% ทั้งนี้จากการศึกษาลักษณะคุณสมบัติทางกายภาพของดินพบว่าเนื้อดินของตัวอย่างดินอยู่ในชั้นดินร่วนปนทราย , มีอินทรียวัตถุต่ำ

(3.) ปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่มีอยู่ในดิน ในดินจุดที่ 1 มีปริมาณตะกั่วในดินมากที่สุด ในดินจุดที่ 2 และ 3 มีปริมาณตะกั่วในดินใกล้เคียงกัน แต่มีปริมาณตะกั่วในดินจุดที่ 1 และดินจุดที่ 4 มีปริมาณตะกั่วในดินต่ำที่สุด

(4.) ประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ HNO_3 เป็นน้ำยาสกัด จะเห็นได้ว่าดินทุกจุดทั้งดินบนและดินล่าง มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วออกจากดินได้มากที่สุด ที่ความเข้มข้น 2N และประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วออกจากดินได้รองลงมา คือ ที่ความเข้มข้นของ HNO_3 1 N รองลงมา คือ 0.5 N, 0.2 N, 0.1 N, 0.05 N ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาสกัดประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น

โดยที่ดินจุดที่ 1 ดินบน ที่ขนาดอนุภาค < 0.1mm สามารถสกัดตะกั่วได้ต่ำที่สุด (98.9%) และที่ขนาดอนุภาค 0.5 mm สามารถสกัดตะกั่วได้ต่ำสุด (65.5%) ดินล่างที่ขนาดอนุภาค 0.5 mm สามารถสกัดตะกั่วออกมาได้สูงที่สุด(88.9%)และที่ขนาดอนุภาค < 0.1 mm สามารถสกัดตะกั่วได้ต่ำที่สุด (25.0%)

ดินจุดที่ 2 ดินบน ที่ขนาดอนุภาค < 0.1 mm สามารถสกัดตะกั่วได้ต่ำสุด (9%) และในขนาดอนุภาคอื่นๆ สามารถสกัดตะกั่วได้ใกล้เคียงกัน 86.1%-88.0% ดินล่างขนาดอนุภาค 0.1 mm สามารถสกัดตะกั่วได้สูงที่สุด (89.1%) และในขนาดอนุภาคอื่นๆ สามารถสกัดตะกั่วได้ใกล้เคียงกัน (32.9%-45.9%)

ดินจุดที่ 3 ดินบนทุกขนาดอนุภาคมีประสิทธิภาพในการสกัดตะกั่วได้ใกล้เคียงกัน (25.9%-40.2%) ดินล่างขนาดอนุภาค 0.5 mm สามรถสกัดตะกั่วได้สูงที่สุด (61.8%) ส่วนขนาดอนุภาคอื่นสามารถสกัดได้ใกล้เคียงกัน (30.7%-40.9%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง (ต่อ)

ดินจุดที่ 4 ดินบนทุกขนาดอนุภาคสามารถสกัดตะกั่วได้ใกล้เคียงกัน (80.0%-78.6%) ดินล่างขนาดอนุภาค < 2 mm สามารสกัดตะกั่วได้สูงที่สุด (72.2%) ส่วนขนาดอนุภาคอื่นๆ สามารถสกัดตะกั่วได้ใกล้เคียงกัน (35.6%-58.4%)

(5.) ค่า pH ของดินหลังการกำจัดตะกั่วด้วย HNO_3 ในดินทุกจุดทั้งดินบนและดินล่าง พบว่าดินมีฤทธิ์ความเป็นกรดรุนแรง ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วงต่ำ (0.3-1.0) ค่า pH ที่อยู่ในระดับต่ำนี้จะส่งผลให้ดินเป็นดินเปรี้ยวมีผลต่อการเกษตรกรรม ทั้งนี้ควรจะปรับปรุงดินโดยใส่ปูนขาวก่อนทำการเพาะปลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

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

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

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

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

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. ๒๕๓๙. 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 Wate Contaminateed Soils. Marcell Dekker, Inc., New York, pp 745777.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

Peters, R.W. and Shem L., 1992a. *Use of chelating agents for remediation of heavy metal contaminated soil,* ACS Symp. series 509 on Environmental Remediation: removing Organic and Metal Ion Pollutants, 509, American Chemical Society, 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. 1990 Removing Heavy Metal from Contaminated Caly Soil by Extraction with Hydrochloric Acid,EDTA or Hypochlorite Solutions/Environ. Technol., pp. 1039-1052,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK22/chapter6/t22-6-11.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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 B แสดงค่าความเข้มข้นของน้ำยาสกัด HNO_3, ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด, ประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดินและค่า pH หลัง การกำจัดตะกั่วออกจากดิน ในตัวอย่างดินแต่ละจุด

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb	Conc HNO_3	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pbที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	ค่าเฉลี่ย% removal	pH ของดินหลังการกำจัดPb
1	1	0-15cm.	<2mm.	1	180.00	0.05	96.98	97.70	53.88	54.28	54.08	1.54
2			<2mm.	1	180.00	0.10	113.99	116.60	63.33	64.78	64.06	1.55
3			<2mm.	1	180.00	0.20	137.00	138.87	76.11	77.15	76.63	0.84
4			<2mm.	1	180.00	0.50	157.00	159.21	87.22	88.45	87.84	0.5
5			<2mm.	1	180.00	1.00	172.49	173.25	95.83	96.25	96.04	0.14
6			<2mm.	1	180.00	2.00	176.49	178.29	98.05	99.05	98.55	0.93
7	1	0-15cm.	0.5mm.	2	128.00	0.05	83.66	85.05	46.48	47.25	46.87	1.15
8			0.5mm.	2	128.00	0.10	90.70	92.56	50.39	51.42	50.91	1.03
9			0.5mm.	2	128.00	0.20	97.04	97.38	53.91	54.10	54.01	0.72
10			0.5mm.	2	128.00	0.50	117.43	119.21	65.24	66.23	65.74	0.34
11			0.5mm.	2	128.00	1.00	99.14	100.96	55.08	56.09	55.59	0.17
12			0.5mm.	2	128.00	2.00	104.29	105.35	57.94	58.53	58.24	0.69
13	1	0-15cm.	0.1mm.	3	290.00	0.05	160.87	162.18	89.37	90.10	89.74	1.13
14			0.1mm.	3	290.00	0.10	162.18	163.89	90.10	91.05	90.58	1.09
15			0.1mm.	3	290.00	0.20	164.75	166.41	91.53	92.45	91.99	1.03
16			0.1mm.	3	290.00	0.50	167.09	167.85	92.83	93.25	93.04	0.49

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb	Conc HNO_3	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pbที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	ค่าเฉลี่ย% removal	pH ของดินหลังการกำจัดPb
17			0.1mm.	3	290.00	1.00	168.30	169.92	93.50	94.40	93.95	0.24
18			0.1mm.	3	290.00	2.00	172.26	173.83	95.70	96.57	96.14	0.73
19	1	0-15cm.	<0.1mm	4	330.00	0.05	116.19	117.41	64.55	65.23	64.89	1.35
20			<0.1mm	4	330.00	0.10	134.73	135.90	74.85	75.50	75.18	1.09
21			<0.1mm	4	330.00	0.20	142.90	144.81	79.39	80.45	79.92	0.84
22			<0.1mm	4	330.00	0.50	155.99	157.41	86.66	87.45	87.06	0.5
23			<0.1mm	4	330.00	1.00	169.09	170.14	93.94	94.52	94.23	0.23
24			<0.1mm	4	330.00	2.00	178.90	179.80	99.39	99.89	99.64	0.48
25	1	15-30cm.	<2mm.	5	8.75	0.05	15.43	17.41	8.57	9.67	9.12	1.12
26			<2mm.	5	8.75	0.10	18.00	19.93	10.00	11.07	10.54	1.04
27			<2mm.	5	8.75	0.20	46.28	48.08	25.71	26.71	26.21	0.97
28			<2mm.	5	8.75	0.50	82.28	83.43	45.71	46.35	46.03	0.87
29			<2mm.	5	8.75	1.00	87.43	89.42	48.57	49.68	49.13	0.12
30			<2mm.	5	8.75	2.00	93.08	94.72	51.71	52.62	52.17	0.44
31	1	15-30cm.	0.5mm.	6	5.00	0.05	65.99	68.00	36.66	37.78	37.22	0.88
32			0.5mm.	6	5.00	0.10	84.01	85.61	46.67	47.56	47.12	0.73
33			0.5mm.	6	5.00	0.20	112.79	114.30	62.66	63.50	63.08	0.48

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb	Conc HNO_3	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pbที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	ค่าเฉลี่ย% removal	pH ของดินหลังการกำจัดPb
34			0.5mm.	6	5.00	0.50	131.99	134.15	73.33	74.53	73.93	0.58
35			0.5mm.	6	5.00	1.00	156.01	157.23	86.67	87.35	87.01	0.47
36			0.5mm.	6	5.00	2.00	159.61	161.01	88.67	89.45	89.06	0.33
37	1	15-30cm.	0.1mm.	7	6.25	0.05	27.56	29.25	15.31	16.25	15.78	0.92
38			0.1mm.	7	6.25	0.10	29.30	31.91	16.28	17.73	17.01	0.64
39			0.1mm.	7	6.25	0.20	35.10	36.72	19.50	20.40	19.95	0.42
40			0.1mm.	7	6.25	0.50	39.87	41.31	22.15	22.95	22.55	0.66
41			0.1mm.	7	6.25	1.00	42.14	43.29	23.41	24.05	23.73	0.57
42			0.1mm.	7	6.25	2.00	45.72	47.16	25.40	26.20	25.80	0.39
43	1	15-30cm.	<0.1mm	8	20.00	0.05	3.08	4.27	1.71	2.37	2.04	1.05
44			<0.1mm	8	20.00	0.10	4.16	5.31	2.31	2.95	2.63	0.75
45			<0.1mm	8	20.00	0.20	4.50	6.12	2.50	3.40	2.95	0.43
46			<0.1mm	8	20.00	0.50	9.00	11.07	5.00	6.15	5.58	0.1
47			<0.1mm	8	20.00	1.00	27.00	19.98	15.00	11.10	13.05	0.53
48			<0.1mm	8	20.00	2.00	45.00	46.89	25.00	26.05	25.53	0.36
49	2	0-15 cm.	<2mm.	9	163.75	0.05	94.54	96.17	52.52	53.43	52.98	0.93
50			<2mm.	9	163.75	0.10	125.59	126.63	69.77	70.35	70.06	0.7
51			<2mm.	9	163.75	0.20	121.46	123.30	67.48	68.50	67.99	0.23

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb	Conc HNO_3	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pbที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	ค่าเฉลี่ย% removal	pH ของดินหลังการกำจัด Pb
52			<2mm.	9	163.75	0.50	139.32	140.76	77.40	78.20	77.80	0.13
53			<2mm.	9	163.75	1.00	142.88	144.09	79.38	80.05	79.72	0.11
54			<2mm.	9	163.75	2.00	157.46	158.76	87.48	88.20	87.84	0.29
55	2	0-15 cm.	0.5mm.	10	85.50	0.05	82.62	83.61	45.90	46.45	46.18	0.67
56			0.5mm.	10	85.50	0.10	98.41	99.63	54.67	55.35	55.01	0.41
57			0.5mm.	10	85.50	0.20	119.99	121.05	66.66	67.25	66.96	0.36
58			0.5mm.	10	85.50	0.50	134.21	136.17	74.56	75.65	75.11	0.21
59			0.5mm.	10	85.50	1.00	154.21	156.01	85.67	86.67	86.17	0.24
60			0.5mm.	10	85.50	2.00	148.93	149.76	82.74	83.20	82.97	0.19
61	2	0-15 cm.	0.1mm.	11	176.75	0.05	88.60	90.18	49.22	50.10	49.66	0.78
62			0.1mm.	11	176.75	0.10	114.55	115.83	63.64	64.35	64.00	0.52
63			0.1mm.	11	176.75	0.20	131.87	133.74	73.26	74.30	73.78	0.28
64			0.1mm.	11	176.75	0.50	139.00	140.44	77.22	78.02	77.62	0.30
65			0.1mm.	11	176.75	1.00	147.15	148.59	81.75	82.55	82.15	0.52
66			0.1mm.	11	176.75	2.00	157.34	159.32	87.41	88.51	87.96	0.41
67	2	0-15 cm.	<0.1mm	12	331.50	0.05	3.53	5.04	1.96	2.80	2.38	0.89
68			<0.1mm	12	331.50	0.10	6.79	7.65	3.77	4.25	4.01	1.09

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb	Conc HNO_3	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pbที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	ค่าเฉลี่ย% removal	pH ของดินหลังการกำจัดPb
69			<0.1mm	12	331.50	0.20	8.14	8.19	4.52	4.55	4.54	0.53
70			<0.1mm	12	331.50	0.50	9.49	11.43	5.27	6.35	5.81	0.38
71			<0.1mm	12	331.50	1.00	14.11	15.16	7.84	8.42	8.13	0.24
72			<0.1mm	12	331.50	2.00	13.01	14.20	7.23	7.89	7.56	0.64
73	2	15-30cm.	<2mm.	13	33.50	0.05	25.51	27.18	14.17	15.10	14.64	1.14
74			<2mm.	13	33.50	0.10	33.57	34.83	18.65	19.35	19.00	0.64
75			<2mm.	13	33.50	0.20	47.00	48.56	26.11	26.98	26.55	0.53
76			<2mm.	13	33.50	0.50	71.19	72.27	39.55	40.15	39.85	0.27
77			<2mm.	13	33.50	1.00	79.24	81.09	44.02	45.05	44.54	0.12
78			<2mm.	13	33.50	2.00	81.94	83.43	45.52	46.35	45.94	0.48
79	2	15-30cm.	0.5mm.	14	22.50	0.05	11.99	12.96	6.66	7.20	6.93	1.23
80			0.5mm.	14	22.50	0.10	20.00	21.71	11.11	12.06	11.59	1.04
81			0.5mm.	14	22.50	0.20	27.99	29.43	15.55	16.35	15.95	0.61
82			0.5mm.	14	22.50	0.50	47.99	49.07	26.66	27.26	26.96	0.50
83			0.5mm.	14	22.50	1.00	43.99	44.93	24.44	24.96	24.70	0.37
84			0.5mm.	14	22.50	2.00	58.00	59.67	32.22	33.15	32.69	0.51
85	2	15-30cm.	0.1mm.	15	22.50	0.05	72.59	74.75	40.33	41.53	40.93	1.06

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb	Conc HNO_3	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pbที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	ค่าเฉลี่ย% removal	pH ของดิน หลังการกำจัด Pb
86			0.1mm.	15	22.50	0.10	79.99	81.14	44.44	45.08	44.76	0.75
87			0.1mm.	15	22.50	0.20	87.98	88.83	48.88	49.35	49.12	0.57
88			0.1mm.	15	22.50	0.50	108.00	109.60	60.00	60.89	60.45	0.32
89			0.1mm.	15	22.50	1.00	135.99	137.25	75.55	76.25	75.90	0.59
90			0.1mm.	15	22.50	2.00	159.98	160.92	88.88	89.40	89.14	0.53
91	2	15-30cm.	<0.1mm	16	84.00	0.05	20.34	21.87	11.30	12.15	11.73	1.02
92			<0.1mm	16	84.00	0.10	29.99	30.74	16.66	17.08	16.87	0.97
93			<0.1mm	16	84.00	0.20	37.49	38.43	20.83	21.35	21.09	0.72
94			<0.1mm	16	84.00	0.50	50.35	50.67	27.97	28.15	28.06	0.56
95			<0.1mm	16	84.00	1.00	55.62	56.52	30.90	31.40	31.15	0.66
96			<0.1mm	16	84.00	2.00	57.85	60.39	32.14	33.55	32.85	0.46
97	3	0-15 cm.	<2mm.	17	37.50	0.05	28.80	30.40	16.00	16.89	16.45	1.03
98			<2mm.	17	37.50	0.10	25.20	25.83	14.00	14.35	14.18	0.88
99			<2mm.	17	37.50	0.20	36.00	37.76	20.00	20.98	20.49	0.78
100			<2mm.	17	37.50	0.50	39.60	41.40	22.00	23.00	22.50	0.31
101			<2mm.	17	37.50	1.00	45.59	46.76	25.33	25.98	25.66	0.50
102			<2mm.	17	37.50	2.00	51.59	53.01	28.66	29.45	29.06	0.59

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb	Conc HNO_3	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pbที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	ค่าเฉลี่ย% removal	pH ของดินหลังการกำจัด Pb
103	3	0-15 cm.	0.5mm.	18	20.50	0.05	15.35	17.01	8.53	9.45	8.99	0.79
104			0.5mm.	18	20.50	0.10	65.84	66.96	36.58	37.20	36.89	0.76
105			0.5mm.	18	20.50	0.20	37.31	38.54	20.73	21.41	21.07	0.51
106			0.5mm.	18	20.50	0.50	45.81	47.34	25.45	26.30	25.88	0.33
107			0.5mm.	18	20.50	1.00	79.02	79.56	43.90	44.20	44.05	0.22
108			0.5mm.	18	20.50	2.00	68.04	69.21	37.80	38.45	38.13	0.17
109	3	0-15 cm.	0.1mm.	19	11.50	0.05	23.47	25.11	13.04	13.95	13.50	0.95
110			0.1mm.	19	11.50	0.10	28.53	29.25	15.85	16.25	16.05	0.80
111			0.1mm.	19	11.50	0.20	46.94	48.65	26.08	27.03	26.56	0.57
112			0.1mm.	19	11.50	0.50	68.63	70.16	38.13	38.98	38.56	0.44
113			0.1mm.	19	11.50	1.00	70.20	71.73	39.00	39.85	39.43	0.25
114			0.1mm.	19	11.50	2.00	71.60	73.01	39.78	40.56	40.17	0.07
115	3	0-15 cm.	<0.1mm	20	71.00	0.05	13.93	15.16	7.74	8.42	8.08	0.70
116			<0.1mm	20	71.00	0.10	17.73	18.81	9.85	10.45	10.15	0.47
117			<0.1mm	20	71.00	0.20	28.40	29.97	15.78	16.65	16.22	0.40
118			<0.1mm	20	71.00	0.50	35.48	36.99	19.71	20.55	20.13	0.31
119			<0.1mm	20	71.00	1.00	36.76	38.25	20.42	21.25	20.84	0.25

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb	Conc HNO_3	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pbที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	ค่าเฉลี่ย% removal	pH ของดินหลังการกำจัด Pb
120			<0.1mm	20	71.00	2.00	45.63	47.30	25.35	26.28	25.82	0.02
121	3	15-30cm.	<2mm.	21	24.50	0.05	18.36	19.76	10.20	10.98	10.59	0.75
122			<2mm.	21	24.50	0.10	29.38	31.36	16.32	17.42	16.87	0.47
123			<2mm.	21	24.50	0.20	31.21	32.44	17.34	18.02	17.68	0.43
124			<2mm.	21	24.50	0.50	36.72	38.25	20.40	21.25	20.83	0.31
125			<2mm.	21	24.50	1.00	60.61	62.55	33.67	34.75	34.21	0.13
126			<2mm.	21	24.50	2.00	113.87	116.08	63.26	64.49	63.88	0.02
127	3	15-30cm.	0.5mm.	22	13.75	0.05	49.09	51.30	27.27	28.50	27.89	0.53
128			0.5mm.	22	13.75	0.10	64.46	65.25	35.81	36.25	36.03	0.58
129			0.5mm.	22	13.75	0.20	77.40	79.20	43.00	44.00	43.50	0.47
130			0.5mm.	22	13.75	0.50	100.96	102.51	56.09	56.95	56.52	0.37
131			0.5mm.	22	13.75	1.00	107.48	108.72	59.71	60.40	60.06	0.19
132			0.5mm.	22	13.75	2.00	110.05	112.05	61.14	62.25	61.70	0.10
133	3	15-30cm.	0.1mm.	23	24.50	0.05	25.70	27.86	14.28	15.48	14.88	0.70
134			0.1mm.	23	24.50	0.10	30.20	32.13	16.78	17.85	17.32	1.23
135			0.1mm.	23	24.50	0.20	44.06	45.54	24.48	25.30	24.89	0.57

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb	Conc HNO_3	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pbที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	ค่าเฉลี่ย% removal	pH ของดินหลังการกำจัด Pb
136			0.1mm.	23	24.50	0.50	40.39	39.55	22.44	21.97	22.21	0.47
137			0.1mm.	23	24.50	1.00	51.43	52.47	28.57	29.15	28.86	0.23
138			0.1mm.	23	24.50	2.00	55.03	56.68	30.57	31.49	31.03	0.07
139	3	15-30cm.	<0.1mm	24	62.50	0.05	27.36	29.43	15.20	16.35	15.78	0.50
140			<0.1mm	24	62.50	0.10	38.88	40.48	21.60	22.49	22.05	0.38
141			<0.1mm	24	62.50	0.20	44.64	46.17	24.80	25.65	25.23	0.23
142			<0.1mm	24	62.50	0.50	42.48	44.33	23.60	24.63	24.12	0.12
143			<0.1mm	24	62.50	1.00	40.32	41.92	22.40	23.29	22.85	0.16
144			<0.1mm	24	62.50	2.00	60.48	62.10	33.60	34.50	34.05	0.11
145	4	0-15 cm.	<2mm.	25	26.50	0.05	75.06	76.30	41.70	42.39	42.05	0.05
146			<2mm.	25	26.50	0.10	92.41	94.72	51.34	52.62	51.98	0.43
147			<2mm.	25	26.50	0.20	119.43	121.41	66.35	67.45	66.90	0.21
148			<2mm.	25	26.50	0.50	136.49	138.02	75.83	76.68	76.26	0.22
149			<2mm.	25	26.50	1.00	153.54	155.56	85.30	86.42	85.86	0.10
150			<2mm.	25	26.50	2.00	139.90	141.88	77.72	78.82	78.27	0.09
151	4	0-15 cm.	0.5mm.	26	16.37	0.05	57.71	59.74	32.06	33.19	32.63	0.90
152			0.5mm.	26	16.37	0.10	90.68	92.61	50.38	51.45	50.92	0.58

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb	Conc HNO_3	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pbที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	ค่าเฉลี่ย% removal	pH ของดินหลังการกำจัด Pb
153			0.5mm.	26	16.37	0.20	112.66	113.81	62.59	63.23	62.91	0.29
154			0.5mm.	26	16.37	0.50	129.15	131.09	71.75	72.83	72.29	0.10
155			0.5mm.	26	16.37	1.00	137.39	139.32	76.33	77.40	76.87	0.06
156			0.5mm.	26	16.37	2.00	141.10	143.37	78.39	79.65	79.02	0.05
157	4	0-15 cm.	0.1mm.	27	19.85	0.05	45.32	46.76	25.18	25.98	25.58	0.64
158			0.1mm.	27	19.85	0.10	86.42	88.11	48.01	48.95	48.48	0.62
159			0.1mm.	27	19.85	0.20	104.27	104.76	57.93	58.20	58.07	0.48
160			0.1mm.	27	19.85	0.50	108.81	110.07	60.45	61.15	60.80	0.36
161			0.1mm.	27	19.85	1.00	117.88	120.37	65.49	66.87	66.18	0.16
162			0.1mm.	27	19.85	2.00	113.35	114.21	62.97	63.45	63.21	0.09
163	4	0-15 cm.	<0.1mm	28	57.67	0.05	108.50	107.37	60.28	59.65	59.97	0.34
164			<0.1mm	28	57.67	0.10	112.34	114.41	62.41	63.56	62.99	0.57
165			<0.1mm	28	57.67	0.20	124.83	126.88	69.35	70.49	69.92	0.45
166			<0.1mm	28	57.67	0.50	136.03	137.61	75.57	76.45	76.01	0.36
167			<0.1mm	28	57.67	1.00	140.44	138.69	78.02	77.05	77.54	0.19
168			<0.1mm	28	57.67	2.00	143.55	145.13	79.75	80.63	80.19	0.02

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb	Conc HNO_3	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pbที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	ค่าเฉลี่ย% removal	pH ของดินหลังการกำจัด Pb
169	4	15-30cm.	<2mm.	29	27.90	0.05	21.69	23.58	12.05	13.10	12.58	0.77
170			<2mm.	29	27.90	0.10	24.19	26.60	13.44	14.78	14.11	0.67
171			<2mm.	29	27.90	0.20	43.54	45.81	24.19	25.45	24.82	0.54
172			<2mm.	29	27.90	0.50	111.28	112.18	61.82	62.32	62.07	0.56
173			<2mm.	29	27.90	1.00	127.40	125.35	70.78	69.64	70.21	0.43
174			<2mm.	29	27.90	2.00	129.02	130.28	71.68	72.38	72.03	0.14
175	4	15-30cm.	0.5mm.	30	18.55	0.05	16.00	16.96	8.89	9.42	9.16	0.80
176			0.5mm.	30	18.55	0.10	19.40	21.29	10.78	11.83	11.31	0.62
177			0.5mm.	30	18.55	0.20	53.35	55.01	29.64	30.56	30.10	0.39
178			0.5mm.	30	18.55	0.50	41.24	42.28	22.91	23.49	23.20	0.13
179			0.5mm.	30	18.55	1.00	45.50	48.20	25.28	26.78	26.03	0.10
180			0.5mm.	30	18.55	2.00	63.07	64.55	35.04	35.86	35.45	0.65
181	4	15-30cm.	0.1mm.	31	25.30	0.05	3.55	5.09	1.97	2.83	2.40	0.55
182			0.1mm.	31	25.30	0.10	17.78	18.81	9.88	10.45	10.17	0.35
183			0.1mm.	31	25.30	0.20	28.46	29.57	15.81	16.43	16.12	0.22
184			0.1mm.	31	25.30	0.50	56.92	58.95	31.62	32.75	32.19	0.23
185			0.1mm.	31	25.30	1.00	60.46	61.65	33.59	34.25	33.92	0.26

order	จุดดิน	ความลึก	อนุภาค	sample	total Pb	Conc HNO_3	Pb ที่สกัดได้ 1 (ppm)	Pbที่สกัดได้ 2 (ppm)	%Removal 1	%Removal 2	ค่าเฉลี่ย% removal	pH ของดินหลังการกำจัด Pb
186			0.1mm.	31	25.30	2.00	64.80	66.65	36.00	37.03	36.52	0.19
187	4	15-30cm.	<0.1mm	32	60.07	0.05	19.46	16.58	10.81	9.21	10.01	1.05
188			<0.1mm	32	60.07	0.10	34.45	35.96	19.14	19.98	19.56	0.93
189			<0.1mm	32	60.07	0.20	39.98	41.54	22.21	23.08	22.65	0.67
190			<0.1mm	32	60.07	0.50	56.92	58.77	31.62	32.65	32.14	0.24
191			<0.1mm	32	60.07	1.00	61.42	64.30	34.12	35.72	34.92	0.14
192			<0.1mm	32	60.07	2.00	100.37	102.33	55.76	56.85	56.31	0.10

ภาคผนวก C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 1.1 C อนุภาคขนาด < 2.0 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3197.80	5	639.56	1272.04	5E-09
Within Groups	3.02	6	0.50		
Total	3200.82	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	54.08					
0.1N	2		64.06				
0.2N	2			76.63			
0.5N	2				87.84		
1N	2					96.04	
2N	2						98.55
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

ตารางที่ 1.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	419.38	5	83.88	249.25	7E-07
Within Groups	2.02	6	0.34		
Total	421.40	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	46.87					
0.1N	2		50.91				
0.2N	2			54.01			
1N	2				55.59		
2N	2					58.24	
0.5N	2						65.74
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	54.38	5	10.88	32.42	0.00
Within Groups	2.01	6	0.34		
Total	56.39	11			

REMOVAL						
Duncan						
HNO_3	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	89.74				
0.1N	2	90.58	90.58			
0.2N	2		91.99	91.99		
0.5N	2			93.04	93.04	
1N	2				93.95	
2N	2					96.14
Sig.		0.20	0.05	0.12	0.17	1.00
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	1633.45	5	326.69	1217.85	6E-09
Within Groups	1.61	6	0.27		
Total	1635.06	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	64.89					
0.1N	2		75.18				
0.2N	2			79.92			
0.5N	2				87.06		
1N	2					94.23	
2N	2						99.64
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 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	3828.53	5	765.71	1577.50	3E-09
Within Groups	2.91	6	0.49		
Total	3831.44	11			

REMOVAL						
Duncan						
HNO_3	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	9.12				
0.1N	2	10.54				
0.2N	2		26.21			
0.5N	2			46.03		
1N	2				49.13	
2N	2					52.17
Sig.		0.088541	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	4458.39	5	891.68	2033.12	1E-09
Within Groups	2.63	6	0.44		
Total	4461.02	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	37.22					
0.1N	2		47.12				
0.2N	2			63.08			
0.5N	2				73.93		
1N	2					87.01	
2N	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.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	153.94	5	30.79	67.35	3E-05
Within Groups	2.74	6	0.46		
Total	156.69	11			

REMOVAL					
Duncan					
HNO_3	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
0.05N	2	15.78			
0.1N	2	17.01			
0.2N	2		19.95		
0.5N	2			22.55	
1N	2			23.73	
2N	2				25.80
Sig.		0.12	1	0.13	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	906.64	5	181.33	411.31	2E-07
Within Groups	2.65	6	0.44		
Total	909.28	11			

REMOVAL					
Duncan					
HNO_3	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
0.05N	2	2.04			
0.1N	2	2.63			
0.2N	2	2.95			
0.5N	2		5.58		
1N	2			15.55	
2N	2				25.53
Sig.		0.233197	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 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	1445.33	5	289.07	909.92	1E-08
Within Groups	1.91	6	0.32		
Total	1447.23	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	52.98					
0.2N	2		67.99				
0.1N	2			70.06			
0.5N	2				77.80		
1N	2					79.72	
2N	2						87.84
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	2495.38	5	499.08	1704.93	2E-09
Within Groups	1.76	6	0.29		
Total	2497.13	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	46.18					
0.1N	2		55.01				
0.2N	2			66.96			
0.5N	2				75.11		
2N	2					82.97	
1N	2						86.17
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1764.06	5	352.81	224.60	1E-06
Within Groups	9.43	6	1.57		
Total	1773.48	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	49.66					
0.1N	2		64.00				
0.2N	2			73.78			
0.5N	2				77.62		
1N	2					82.15	
2N	2						85.46
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	48.17	5	9.63	40.21	0.00
Within Groups	1.44	6	0.24		
Total	49.61	11			

REMOVAL					
Duncan					
HNO_3	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
0.05N	2	2.38			
0.1N	2		4.01		
0.2N	2		4.54		
0.5N	2			5.81	
2N	2				7.56
1N	2				8.13
Sig.		1.00	0.32	1.00	0.29
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 4.1 C อนุภาคขนาด < 2.0 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1825.72	5	365.14	1037.93	1E-08
Within Groups	2.11	6	0.35		
Total	1827.83	11			

REMOVAL						
Duncan						
HNO_3	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	14.64				
0.1N	2		19.00			
0.2N	2			26.55		
0.5N	2				39.85	
1N	2					44.54
2N	2					45.94
Sig.		1.00	1.00	1.00	1.00	0.06
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	978.49	5	195.70	705.34	3E-08
Within Groups	1.66	6	0.28		
Total	980.15	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	6.93					
0.1N	2		11.59				
0.2N	2			15.95			
1N	2				24.70		
0.5N	2					26.96	
2N	2						32.69
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3633.08	5	726.62	2406.68	8E-10
Within Groups	1.81	6	0.30		
Total	3634.89	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	40.93					
0.1N	2		44.76				
0.2N	2			49.12			
0.5N	2				60.45		
1N	2					75.90	
2N	2						89.14
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	709.94	5	141.99	495.34	9E-08
Within Groups	1.72	6	0.29		
Total	711.66	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	11.73					
0.1N	2		16.87				
0.2N	2			21.09			
0.5N	2				28.06		
1N	2					31.15	
2N	2						32.85
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 5.1 C อนุภาคขนาด < 2.0 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	310.99	5	62.20	190.32	2E-06
Within Groups	1.96	6	0.33		
Total	312.95	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.1N	2	14.18					
0.05N	2		16.45				
0.2N	2			20.49			
0.5N	2				22.50		
1N	2					25.66	
2N	2						29.06
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

ตารางที่ 5.2 C อนุภาคขนาด 0.5 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1689.81	5	337.96	1384.99	4E-09
Within Groups	1.46	6	0.24		
Total	1691.27	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	8.99					
0.2N	2		21.07				
0.5N	2			25.88			
0.1N	2				36.89		
2N	2					38.13	
1N	2						44.05
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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1477.65	5	295.53	899.18	2E-08
Within Groups	1.97	6	0.33		
Total	1479.62	11			

REMOVAL						
Duncan						
HNO_3	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	13.50				
0.1N	2		16.05			
0.2N	2			26.56		
0.5N	2				38.56	
1N	2				39.43	39.43
2N	2					40.17
Sig.		1.00	1.00	1.00	0.18	0.24
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	458.43	5	91.69	286.61	5E-07
Within Groups	1.92	6	0.32		
Total	460.35	11			

REMOVAL						
Duncan						
HNO_3	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	8.08				
0.1N	2		10.15			
0.2N	2			16.22		
0.5N	2				20.13	
1N	2				20.84	
2N	2					25.82
Sig.		1	1	1	0.259043	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 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	3815.89	5	763.18	1611.61	3E-09
Within Groups	2.84	6	0.47		
Total	3818.74	11			

REMOVAL						
Duncan						
HNO_3	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	10.59				
0.1N	2		16.87			
0.2N	2		17.68			
0.5N	2			20.83		
1N	2				34.21	
2N	2					63.88
Sig.		1	0.28	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	1945.43	5	389.09	905.85	2E-08
Within Groups	2.58	6	0.43		
Total	1948.01	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	27.89					
0.1N	2		36.03				
0.2N	2			43.50			
0.5N	2				56.52		
1N	2					60.06	
2N	2						61.70
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	402.09	5	80.42	207.04	1E-06
Within Groups	2.33	6	0.39		
Total	404.42	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	14.88					
0.1N	2		17.32				
0.5N	2			22.21			
0.2N	2				24.89		
1N	2					28.86	
2N	2						31.03
Sig.		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
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	350.65	5	70.13	153.01	3E-06
Within Groups	2.75	6	0.46		
Total	353.40	11			

REMOVAL						
Duncan						
HNO_3	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	15.78				
0.1N	2		22.05			
1N	2		22.85	22.85		
0.5N	2			24.12	24.12	
0.2N	2				25.23	
2N	2					34.05
Sig.		1	0.28	0.11	0.15	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 7.1 C อนุภาคขนาด < 2.0 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2833.30	5	566.66	1044.31	1E-08
Within Groups	3.26	6	0.54		
Total	2836.56	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	42.05					
0.1N	2		51.98				
0.2N	2			66.90			
0.5N	2				76.26		
2N	2					78.27	
1N	2						85.86
Sig.		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
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	3203.96	5	640.79	1142.52	8E-09
Within Groups	3.37	6	0.56		
Total	3207.33	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	32.63					
0.1N	2		50.92				
0.2N	2			62.91			
0.5N	2				72.29		
1N	2					76.87	
2N	2						79.02
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2267.27	5	453.45	1289.04	5E-09
Within Groups	2.11	6	0.35		
Total	2269.38	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	25.58					
0.1N	2		48.48				
0.2N	2			58.065			
0.5N	2				60.8		
2N	2					63.21	
1N	2						66.18
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	678.76	5	135.75	295.72	4E-07
Within Groups	2.75	6	0.46		
Total	681.51	11			

REMOVAL						
Duncan						
HNO_3	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	59.97				
0.1N	2		62.99			
0.2N	2			69.92		
0.5N	2				76.01	
1N	2				77.54	
2N	2					80.19
Sig.		1.00	1.00	1.00	0.07	1.00
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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	8073.64	5	1614.73	2969.48	4E-10
Within Groups	3.26	6	0.54		
Total	8076.90	11			

REMOVAL						
Duncan						
HNO_3	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0.05N	2	12.58				
0.1N	2	14.11				
0.2N	2		24.82			
0.5N	2			62.07		
1N	2				70.21	
2N	2					72.03
Sig.		0.08	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	1083.64	5	216.73	473.84	1E-07
Within Groups	2.74	6	0.46		
Total	1086.39	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	9.16					
0.1N	2		11.31				
0.5N	2			23.20			
1N	2				26.03		
0.2N	2					30.10	
2N	2						35.45
Sig.		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.3 C อนุภาคขนาด 0.1 mm

ANOVA					
REMOVAL					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2030.45	5	406.09	1154.13	7E-09
Within Groups	2.11	6	0.35		
Total	2032.57	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	2.40					
0.1N	2		10.17				
0.2N	2			16.12			
0.5N	2				32.19		
1N	2					33.92	
2N	2						36.52
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	2560.29	5	512.06	695.77	3E-08
Within Groups	4.42	6	0.74		
Total	2564.70	11			

REMOVAL							
Duncan							
HNO_3	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
0.05N	2	10.01					
0.1N	2		19.56				
0.2N	2			22.65			
0.5N	2				32.14		
1N	2					34.92	
2N	2						56.31
Sig.		1	1	1	1	1	1
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a	Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้