การใช้ประโยชน์ของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในการลดการชะละลายโลหะหนักออกจากดินที่ปนเปื้อนจากพื้นที่เหมือง

Utilization of Industrial and Agricultural Wastes to Reduce the Heavy Metals Leaching from Land Mines

ศศิธร สิงห์เสริมวงษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตบางเขน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Sasithorn Singsurmvong and Kanita Tungkananuruk*

Department of Environmental Science, Faculty of environment, Kasetsart University,
Bangkhen Campus, Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม เพื่อลดการชะละลายโลหะหนักออกจากดินพื้นที่เหมืองแร่ โดยวิเคราะห์โลหะหนักตามวิธี US. EPA 3051 สำหรับตัวอย่างดินและเถ้าลอยลิกไนต์ และ US. EPA 3015a สำหรับตัวอย่างน้ำ และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ศึกษาการชะละลายด้วยวิธี SPLP และวิธีแบบต่อเนื่อง ผลวิเคราะห์พบว่า Fe, Pb, Ni, Zn, Cr, Cd และ Cu เท่ากับ 1,353.50, 525.00, 223.00, 192.99, 65.00, 14.35 และ 12.25 mg/kg ตามลำดับ เถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 ชนิดและเถ้าลอยลิกไนต์ที่ผ่านการล้าง พบว่ามีปริมาณโลหะหนักสูงกว่าวัสดุชนิดอื่นที่ศึกษา ผลการชะละลายด้วยวิธี SPLP ที่ pH 2.0, 4.2 และ 6.0 พบว่า pH 2.0 Cd, Zn, Fe และ Cu ถูกชะละลายปริมาณสูง นอกจากนั้นเปลือกไข่ ถ่านไม้ไผ่ และปูนขาว สามารถลดการชะละลาย Cd, Zn, Fe และ Cu อย่างไรก็ตาม ถ่านไม้ไผ่มีประสิทธิภาพลดการชะลาย Cd ได้สูงสุด (55.96 %) ดังนั้นการทดสอบการชะละลายแบบต่อเนื่องโดยใช้ถ่านไม้ไผ่ และศึกษาการชะละลายด้วยน้ำที่มี pH 6.0 พบว่าน้ำชะผิวดินมี Fe (0.7781 mg/L) Cu (0.0771 mg/L) Cd (0.0354 mg/L) และ Zn (0.0216 mg/L) ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน น้ำซึมผ่านชั้นดิน ความเข้มข้นของ Fe (0.2595 mg/L) Cu (0.1539 mg/L) และ Zn (0.0232 mg/L) ไม่เกินคุณภาพน้ำใต้ดิน ยกเว้น Cd (0.0342 mg/L)

คำสำคัญ : การชะละลาย; โลหะหนัก; ดินปนเปื้อน

Abstract

In this research, study was carried out on the utilization of residues from industry and agriculture for reducing heavy metals leaching from soil in mining. The studies comprised of heavy metals

*Corresponding author: kkanita.kt@gmail.com
DOI: 10.14456/tjst.2017.26

determination by acid digestion of US. EPA method 3051 for soil and lignite fly ash samples and US. EPA method 3015a for water samples and analysis by AAS. The standard leaching test with SPLP and continuous leaching test were investigated. The results revealed that Fe, Pb, Ni, Zn, Cr, Cd and Cu were detected at concentration of 1,353.50, 525.00, 223.00, 192.99, 65.00, 14.35 and 12.25 mg/kg respectively. Three kinds of lignite fly ash and washed fly ash were contained higher amount of heavy metals than the other studied residues. The leaching results from SPLP at pH 2.0, 4.2 and 6.0 were found that at pH 2.0 Cd Zn Fe and Cu were leached at high level. Moreover, egg shell, bamboo chacoal and lime were able to reduce the leaching of Cd Zn Fe and Cu. However bamboo chacoal gave a highest reducing efficiency of Cd leaching (55.96 % leaching). Therefore, the continuous leaching test by using bamboo chacoal and leaching by water pH 6.0. It was found that in run-off the concentration of Fe (0.7881 mg/L), Cu (0.0771 mg/L), Cd (0.0354 mg/L) and Zn (0.0216 mg/L) were not more than surface water quality standards. In permeate, the concentration of Fe (0.2595 mg/L), Cu (0.1539 mg/L) and Zn (0.0232 mg/L) were in agreement of the ground-water quality standards except Cd (0.0342 mg/L).

Keywords: leaching; heavy metal; contaminated soil

1. คำนำ

ปัญหาความเสื่อมโทรมของดินที่ไม่ได้ตามมาตรฐานการใช้ประโยชน์ที่อยู่อาศัยและการเกษตรกรรมในประเทศไทย ส่วนหนึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการทำอุตสาหกรรมเหมืองแร่ เหมืองแร่ในอดีตมักก่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสุนทรียภาพ ซึ่งพบเห็นได้ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ บริเวณที่มีการทำเหมืองแร่มักเป็นภูเขาที่มีการสะสมและผุพังอยู่กับที่ตามธรรมชาติ เมื่อมีการทำเหมืองแร่จะก่อให้เกิดการปนเปื้อนและแพร่กระจายโลหะหนักเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อพื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่ที่อยู่บริเวณโดยรอบ เช่น การปนเปื้อนของสารหนูในพื้นที่เหมืองแร่ดีบุกที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช การปนเปื้อนของตะกั่วในเหมืองแร่ตะกั่วที่ห้วยคลิตี้ อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี กิจกรรมการทำเหมืองแร่ปกติแล้วจำเป็นต้องมีการเปิดหน้าดินโดยการขุดและตักดินที่ปกคลุมชั้นแร่ออก แล้วนำไปกองโดยรอบเหมือง เมื่อเกิดฝนตกน้ำฝนจะไหลชะผ่านชั้นดินของกองดินในบ่อเหมือง เกิดการชะพาโลหะหนัก ชะความเป็นกรดมีผลต่อธาตุอาหารและสารประกอบในดิน นอกจากนี้แล้วน้ำชะที่ไหลผ่านชั้นดินและไหลบ่าผิวดินยังสามารถไหลซึมสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำใต้ดินได้ เนื่องจากโลหะหนักมีสมบัติแตกต่างกันไป บางชนิดสลายตัวยาก สามารถสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิต และถ่ายทอดสู่ห่วงโซ่อาหารได้ ซึ่งเมื่อเข้าสู่ร่างกายมนุษย์มีการสะสมปริมาณมากและยาวนาน โลหะหนักจะแสดงความเป็นพิษต่อร่างกาย ส่งผลต่อระบบประสาท ระบบกล้ามเนื้อ และระบบทางเดินหายใจ

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาการลดการชะละลายโลหะหนักออกจากดินที่ปนเปื้อนจากพื้นที่เหมืองแร่ โดยการใช้ประโยชน์ของจากภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ถ่านไม้ไผ่ ปูนขาว และเปลือกไข่ ที่มีสมบัติเป็นตัวดูดซับ เนื่องจากมีรูพรุนมาก พื้นที่ผิวจำเพาะสูง

และสามารถดูดจับกับวัตถุอื่นที่มีประจุตรงกันข้าม จากการวิจัยนี้การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งในการลดการชะโลหะหนักออกจากดินที่ปนเปื้อน เพื่อให้สามารถใช้ดินในด้านการเกษตรได้อย่างปลอดภัย

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณโลหะหนักในดิน

2.1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก

เก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่บริเวณเหมืองแร่สังกะสี ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก นำไปตากให้แห้ง บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. แบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ดินที่เก็บในแต่ละดับความลึก คือ 0-10, 10-15 และ 15-30 ซม. และกลุ่มที่ 2 ตัวอย่างดินแต่ละระดับความลึกผสมเข้าด้วยกัน วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM)โดยวิธีการของ Walkley Black และปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available phosphorus) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available potassium) โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Na, Ca และ Mg) โดยวิธีการสกัด ทำตามวิธีการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมีกรมพัฒนาที่ดิน (2553)

2.1.2 การวิเคราะห์โลหะหนักในดิน

ย่อยตัวอย่างดิน 0.5 กรัม ด้วยเครื่อง Microwave Digestor ตามวิธีมาตรฐาน US. EPA method 3051 และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ Cd (II), Zn (II), Fe (II), Pb (II), Cu (II), Ni (II) และ Cr (VI) ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2.2 การเตรียมเถ้าลอยลิกไนต์และวิเคราะห์โลหะหนัก

ใช้เถ้าลอยลิกไนต์ที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ผสมกับชีวมวลในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ 70 : 30 (FA I), 90 : 10 (FA II) และ 100 : 0 (FA III) ศึกษา 2 ลักษณะ คือ

(1) FA เถ้าลอยลิกไนต์ที่ไม่ผ่านขั้นตอนการล้างทำความสะอาด

(2) WFA เถ้าลอยลิกไนต์ที่ผ่านขั้นตอนการล้างด้วยน้ำสะอาด และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 3 % V/V จนระดับ pH ของน้ำล้างเท่ากับ 8 อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. โดยเถ้าลอยชนิด FA III ผ่านกระบวนการล้าง 3 ครั้ง (WFA I, WFA II และ WFA III ตามลำดับ) วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักเถ้าลอยลิกไนต์ FA และ WFA ตามวิธีมาตรฐาน US. EPA method 3051 และเครื่อง AAS

2.3 การชะละลายของโลหะหนักจากดินและวัสดุที่ใช้ลดการชะละลายโลหะหนักด้วยวิธี SPLP

ทดสอบการชะละลายโดยใช้วิธี SPLP (synthetic precipitation leaching procedure) ตามวิธีการ US. EPA method1312

2.3.1 เตรียมสารละลายสกัด

โดยนำน้ำกลั่นมา ปรับ pH ให้เท่ากับ 4.2 ด้วยสารละลาย H_2SO_4 : HNO_3 (60 : 40) ตามวิธี SPLP และเตรียมสารสกัด pH เท่ากับ 2.0 และ 6.0

2.3.2 การชะละลายของโลหะหนัก

ปริมาณตัวอย่างดิน ถ่านไม้ไผ่ และปูนขาวที่ศึกษา คือ 5.0, 1.0 และ 0.5 กรัม ต่อปริมาณสารสกัดหรือน้ำกลั่น 20 มล. หมุนเหวี่ยง 18 ชั่วโมง ด้วยความเร็ว 30 รอบต่อนาที กรองตัวอย่างนำสารละลายไปย่อยตามวิธีการ US. EPA method 3015a กรองและปรับปริมาตรเป็น 50 มล. ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์

ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

2.4 ศึกษาความสามารถของการลดการชะละลายของโลหะหนักจากดิน

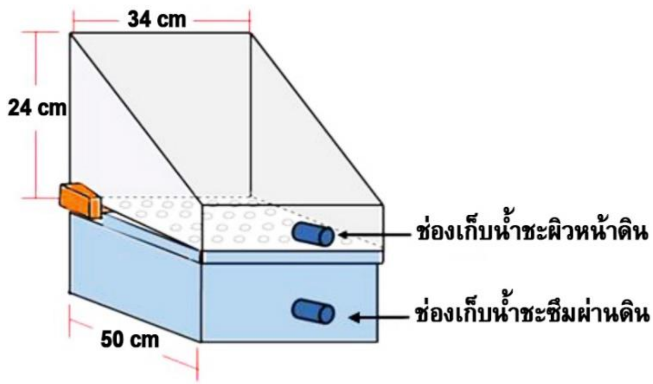
2.4.1 การทดสอบแบบแบตช์ (batch method)

(1) ศึกษาการชะละลายเมื่อใช้น้ำเป็นสารสกัด โดยชั่งตัวอย่างดิน 10.00 กรัม ต่อน้ำกลั่น 50 มล. นำไปหมุนเหวี่ยงความเร็ว 180 รอบต่อนาที ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 30 นาที 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

(2) ศึกษาการชะละลายโลหะหนักเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งลดการชะละลายโลหะหนักผสมกับดิน โดยในแต่ละการทดลองใช้ดิน 10.00 กรัม และวัสดุเหลือทิ้งแต่ละชนิด ได้แก่ ถ่านไม้ไผ่ (1.0, 3.0 และ 5.0 กรัม ตามลำดับ) ปูนขาว (0.1, 0.3 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ) และเปลือกไข่ (1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 9.0, 11.0, 13.0 และ 15.0 กรัม ตามลำดับ) เติมน้ำกลั่นหรือสารสกัด pH 2.0, 4.2 และ 6.0 ทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

2.4.2 ศึกษาการชะละลายแบบต่อเนื่อง (continuous leaching test)

การทดลองเลียนแบบการชะละลายของกองดินโดยน้ำฝนตามปรากฏการณ์ธรรมชาติ มีขั้นตอนดังนี้คือ ทดสอบการชะละลายด้วยวิธีมาตรฐาน การทดลองทำโดยใช้แบบจำลองที่มีความสูง 24 ซม. ยาว 50 ซม. กว้าง 34 ซม. ด้านล่างของแบบจำลองเจาะรูเพื่อเก็บรวบรวมน้ำซึมผ่านชั้นดิน เจาะรูที่ปลายด้านกว้างหนึ่งด้านเพื่อปล่อยน้ำและเก็บรวบรวมน้ำชะผิวหน้าดิน เติมดินปริมาณ 10.00 กก. ผสมกับถ่านไม้ไผ่ 1.00 กก. เกลี่ยดินให้มีความลาดเอียงเท่ากับ 20 องศา ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งใกล้เคียงกับความลาดเอียงของกองดินที่เกิดจากการทำเหมือง เติมน้ำฝนจำลอง pH 6.0 ที่เตรียมจากการนำน้ำกลั่นมาปรับ pH ด้วย H_2SO_4 ปริมาณและรูปแบบการเติมน้ำเข้าระบบโดยอ้างอิงข้อมูลมาจากปริมาณฝนที่ตกรายเดือนเฉลี่ยในคาบ 30 ปี ย้อนหลัง (ปี พ.ศ. 2524-2553) ของจังหวัดตาก นำมาคำนวณทางสถิติเติมน้ำฝนเข้าระบบวันละ 1 ครั้ง ซึ่งเรียงลำดับตามเดือนที่มีฝนตกเฉลี่ยน้อยที่สุดจนกระทั่งถึงเดือนที่มากที่สุด โดยใช้ฝักบัวรด และเติมน้ำฝนเข้าระบบในปริมาณที่สูงที่สุดต่อเนื่องจนครบ 20 วัน สำหรับน้ำออกระบบซึ่งมี 2 ส่วนคือ น้ำชะผิวหน้าดิน (run off) และน้ำซึมผ่านชั้นดิน (permeate) ได้เก็บรวบรวม เพื่อวัดปริมาณในแต่ละวัน วิเคราะห์แยกส่วนกันโดยวัด pH และค่าสภาพการนำไฟฟ้าทุกวันที่มีน้ำออกระบบ และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักตามวิธีมาตรฐาน US. EPA method 3015a สัปดาห์ละ 1 ครั้ง



รูปที่ 1 ภาพตัดขวางแบบจำลองที่ใช้ในการทดลองการชะละลายด้วยวิธีแบบต่อเนื่อง

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณโลหะหนักในดิน

ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินของตัวอย่างดินกลุ่มที่ 1 และ 2 ไม่แตกต่างกัน ดินมีความเป็นด่างเล็กน้อย (7.0) มีค่าความเค็มน้อย (471.00 µs/cm) pH มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองในดินที่มีความจำเป็นต่อพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ 0.27 โดยมวล) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (11.97 มก./กก.) โพแทสเซียมไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (114.45 มก./กก.) และอินทรียวัตถุในดินมีปริมาณปานกลาง (1.98 % โดยมวล) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2537) มีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (exchangeable cations) สูง เนื่องจากตัวอย่างดินเป็นดินเหนียว ทำให้มีความสามารถแลกเปลี่ยนประจุและดูดซับแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมในปริมาณมากกว่าธาตุอื่น ๆ (นันทรัตน์, 2558) ทั้งนี้ปริมาณแคทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีปริมาณสูงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดินเช่นกัน และ pH ของดินยังมีผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน และการเติบโตของพืชที่ปลูกอีกด้วย ในส่วนของผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าโลหะหนักในดินส่วนใหญ่มีปริมาณสูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดิน ปริมาณโลหะหนักในดินไม่เกินค่ามาตรฐาน ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง นิเกิล และโครเมียม ยกเว้นเหล็ก สังกะสี และตะกั่ว ที่มีการปนเปื้อนในดินสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดถึง 6.76, 0.92 และ 0.31 เท่า ตามลำดับ

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในเถ้าลอยลิกไนต์

ผลการศึกษารูปแบบการใช้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์โลหะหนักตามวิธี US. EPA method 3051 ในเถ้าลอยลิกไนต์ 3 ชนิด ที่ศึกษาใน 2 ลักษณะ พบว่าการเพิ่มจำนวนครั้งในการล้างเถ้าลอย ทำให้ปริมาณโลหะหนักในเถ้าลอยลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเถ้าลอยลิกไนต์ WFA III มีปริมาณโลหะหนักแต่ละธาตุน้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเถ้าลอยลิกไนต์ FA และ WFA ทั้ง 3 ชนิด ยังคงมีปริมาณโลหะหนักสูงโดยเฉพาะธาตุเหล็ก โดยเถ้าลอยชนิด WFA III มีปริมาณแคดเมียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว นิเกิล และโครเมียม เท่ากับ 4.80, 6,754, 56.76, 24.40, 48.00, 54.35 และ 22.35 มก./กก. ตามลำดับ ซึ่งส่งผลกระทบต่อพืชที่ปลูกเมื่อเกิดการชะละลายออกมามากอาจทำให้พืชไม่เจริญเติบโตและเกิดความเป็นพิษต่อพืชได้ ทั้งนี้เถ้าลอยลิกไนต์ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุเพาะปลูกทางการเกษตรอย่างมาก เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารสูง และช่วยลดความเป็นกรดของดิน (อรวรรณ, 2543) แต่ควรวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนและถ้ามีโลหะหนักในปริมาณสูง หากใส่ผสมกับดินโลหะหนักอาจถูกชะละลายปนเปื้อนในดินมากขึ้น หรืออาจต้องมาผ่าน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในดิน

โลหะหนัก	ผลวิเคราะห์ (มก./กก.)	ค่ามาตรฐาน (มก./กก.)
แคดเมียม	12.25	*37.00
เหล็ก	1,353.50	**200.00
สังกะสี	192.99	**100.00
ทองแดง	14.35	**45.00
ตะกั่ว	525.00	*400.00
นิเกิล	223.00	*1,600.00
โครเมียม	65.00	*300.00

*ค่ามาตรฐานคุณภาพดินเพื่ออยู่อาศัยและเกษตรกรรมของกรมควบคุมมลพิษ; **ค่ามาตรฐานคุณภาพดินของกรมพัฒนาที่ดิน

ขั้นตอนการล้างจนมีปริมาณน้อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงไม่เลือกใช้เถ้าลอยลิกไนต์ เนื่องจากไม่สะดวกต่อการนำมาใช้จริงเพราะต้องผ่านขั้นตอนการล้างเพื่อลดปริมาณโลหะหนัก

3.3 ผลการชะละลายของโลหะหนักออกจากถ่านไม้ไผ่และปูนขาวด้วยวิธี SPLP

ศึกษาการชะละลายโลหะหนักออกจากถ่านไม้ไผ่และปูนขาวด้วยวิธี SPLP ยกเว้นเปลือกไข่ซึ่งไม่ได้วิเคราะห์ เนื่องจากเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ ไม่ผ่านกระบวนการอันเป็นสาเหตุให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักในวัสดุ

3.3.1 การชะละลายโลหะหนักของถ่านไม้ไผ่ตามวิธีการชะละลาย SPLP

ผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักจากถ่านไม้ไผ่ โดยใช้สารสกัด pH ต่างๆ พบว่า pH มีผลต่อการชะละลายโลหะในถ่านไม้ไผ่ ยกเว้นตะกั่วและโครเมียม โลหะหนักถูกชะละลายจากถ่านไม้ไผ่สูงที่สุดที่ pH 2.0 โลหะหนักถูกชะละลายปริมาณสูงที่สุดคือ สังกะสี (0.1568 มก./ล.) โลหะหนักปริมาณรองลงมา คือ เหล็ก นิเกิล แคดเมียม และทองแดง เท่ากับ 0.0378, 0.0312, 0.0102 และ 0.0052 มก./ล. ตามลำดับ ในส่วนของน้ำกลั่นและสารสกัด pH 4.2 และ 6.0 โลหะหนักมีแนวโน้มถูกชะละลายออกมาในปริมาณต่ำมากไม่แตกต่างกันทั้งที่ pH 2 ประกอบกับคุณลักษณะของถ่านไม้ไผ่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุลดการชะละลายและวัสดุปรับปรุงดิน เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและรูพรุนขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่ว (ชาคริยา, 2558) มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนและคาร์บอนได้สูง (ปรินทร, 2551)

3.3.2 การชะละลายโลหะหนักของปูนขาวตามวิธีการชะละลาย SPLP

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในปูนขาว โดยใช้สารสกัด pH ต่างๆ พบว่า pH มีผลต่อการชะละลายโลหะหนักจากปูนขาว ยกเว้นโลหะตะกั่ว และโครเมียม การชะละลายโลหะหนักด้วยน้ำกลั่นและสารสกัด pH 4.2 และ 6.0 มีค่าไม่แตกต่างกัน โลหะหนักถูกชะละลายออกมาสูงที่สุดที่ pH 2 ปริมาณโลหะหนักถูกชะละลายสูงที่สุด คือ สังกะสีเท่ากับ 0.1029 มก./ล. โลหะปริมาณหนักรองลงมา คือ เหล็ก แคดเมียม นิเกิล และทองแดง เท่ากับ 0.0257, 0.0113, 0.0105 และ 0.0050 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งผลวิเคราะห์โลหะหนักที่ได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับถ่านไม้ไผ่ โลหะหนักที่พบอาจมาจากองค์ประกอบทางเคมีของปูนขาว ซึ่งไม่ได้ผ่านกระบวนการทางเคมีทำให้ปูนขาวบริสุทธิ์ (วรวุฒิและคณะ, 2553) ทั้งนี้การใช้ปูนจะช่วยปรับ pH ของดินให้เหมาะสม ทำให้ดินมีความสามารถในการดูดยึดธาตุอาหารพืชได้ดีขึ้น ลดความเป็นพิษของโลหะหนักในดินได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2537)

3.4 การศึกษาการชะละลายโลหะในดิน

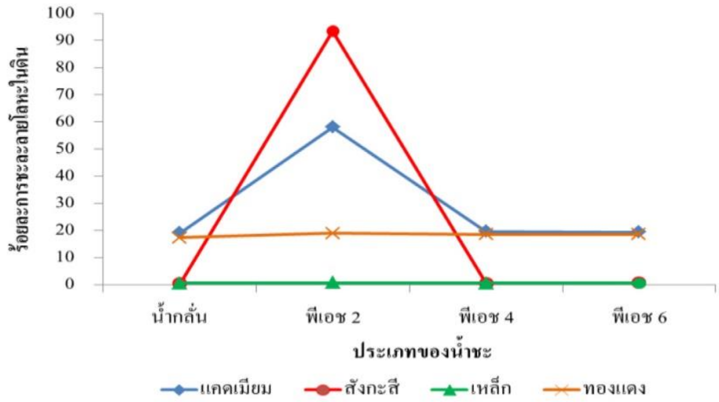
3.4.1 การศึกษาปริมาณโลหะที่ถูกชะละลายออกมาจากดิน

เมื่อใช้น้ำเป็นสารสกัดด้วยวิธีการแบบแบตช์ พบว่าโลหะหนักถูกชะละลายจากดินได้ปริมาณน้อยเมื่อใช้น้ำในสารสกัด น้ำไม่สามารถชะละลายตะกั่วและโครเมียมออกจากดินได้ โลหะหนักส่วนใหญ่มีแนวโน้มถูกชะละลายออกมาจากดินคงที่หากดินไม่ถูกรบกวนจนเสียสมดุลทางกายภาพและเคมีโลหะหนักจะถูกชะละลายออกมาปริมาณน้อยไม่ส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินและพืช

3.4.2 การศึกษาการชะละลายของโลหะหนักในดินตามวิธีการชะละลาย SPLP

โดยเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกจากดินด้วยสารสกัดหรือน้ำกลั่นกับปริมาณโลหะในดิน โดยคำนวณร้อยละการชะละลาย (% leaching) โลหะหนักในดิน พบว่า pH มีผลต่อการชะละลายโลหะจากดินอย่างชัดเจน (รูปที่ 2) เมื่อ pH ต่ำลงโลหะหนักจะถูกชะละลายออกมามาก โลหะหนักที่ชะละลายออกมาปริมาณสูงที่สุด

คือ สังกะสี เท่ากับ 93.48 % รองลงมา คือ แคดเมียม ทองแดง และเหล็ก เท่ากับ 58.05, 18.97 และ 0.61 % ตามลำดับ ยกเว้นตะกั่ว โครเมียม และนิเกิล ไม่สามารถชะละลายจากดินได้ แต่พบว่าในน้ำกลั่น นิเกิลสามารถชะละลายออกจากดินได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปิยาภรณ์ (2544) รายงานว่าเมื่อ pH สูงขึ้นนิเกิลถูกชะละลายออกมาได้มาก ขณะที่ pH 4.2, 6.0 และน้ำกลั่น พบว่าร้อยละการชะละลายแคดเมียมมีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ ทองแดง ขณะที่เหล็กและสังกะสีถูกชะละลายออกจากดินปริมาณใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2 ร้อยละการชะละลายโลหะหนักในดินด้วยสารสกัด pH 2.0-6.0 และน้ำกลั่น ตามวิธีการชะละลาย SPLP

3.5 การศึกษาการชะละลายเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งเพื่อลดการชะละลายโลหะหนักผสมกับดิน

3.5.1 ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายจากดินผสมกับถ่านไม้ไผ่

การผสมตัวอย่างดินกับถ่านไม้ไผ่ในอัตราส่วนต่างๆ คือ 10:1, 10:3 และ 10:5 กรัม ตามลำดับ พบว่า pH มีผลต่อการชะละลายโลหะหนักออกจากดิน ยกเว้นตะกั่วและโครเมียมไม่พบการชะละลายออกจากดิน เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการชะละลายโลหะหนักในดินกับดินที่ผสมถ่านไม้ไผ่ พบว่าถ่านไม้ไผ่มีประสิทธิภาพในการลดการชะละลายโลหะหนัก การเติมถ่านไม้ไผ่ในปริมาณที่สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ร้อยละการชะละลายมีค่าลดลง เนื่องจากถ่านไม้ไผ่มีลักษณะเป็นรูพรุน แผ่กระจายเป็นพื้นที่ได้มากถึง 300-700 ตร.ม./ก. (Jiangtao *et al.*, 2014) จึงมีความสามารถในการดูดซับได้สูง และมีผลต่อการชะละลายของนิเกิลช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ เพิ่มความร่วนซุยในดิน (วรวัฒน์, 2550) ทั้งนี้การใช้ถ่านไม้ไผ่ 1.00 กรัม มีประสิทธิภาพในการลดการชะละลายแคดเมียมได้สูงที่สุดเท่ากับ 55.69 %

3.5.2 ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายจากดินผสมกับปูนขาว

การผสมตัวอย่างดินกับปูนขาวในอัตราส่วนต่างๆ คือ 10:0.1, 10:0.3 และ 10:0.5 กรัม ตามลำดับ พบว่า pH มีผลต่อการชะละลายโลหะหนัก ยกเว้นตะกั่ว นิเกิล และโครเมียม ไม่พบการชะละลายออกจากดิน เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการชะละลายโลหะหนักในดินกับดินที่ผสมปูนขาว พบว่าปูนขาวมีความสามารถในการลดการชะละลายโลหะหนัก ปริมาณปูนขาวที่มากขึ้นไม่มีผล

ต่อการชะละลายโลหะหนัก การเติมปูนขาวในดินสามารถช่วยเพิ่ม pH ปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีดิน ลดความเป็นพิษของโลหะอะลูมินัม แมงกานีส และเหล็กได้ (สุวพันธ์, 2526)

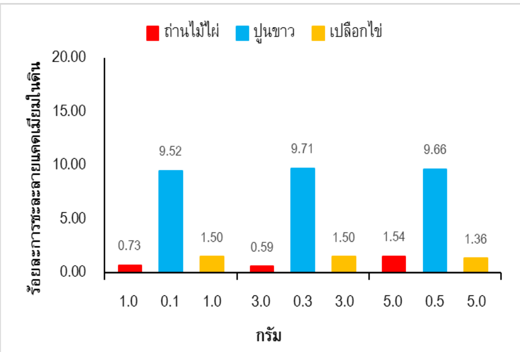
3.5.3 ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายจากดินผสมกับเปลือกไข่

การผสมตัวอย่างดินกับเปลือกไข่ในอัตราส่วนต่าง ๆ คือ 10:1, 10:3 และ 10:5 กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการชะละลายโลหะหนักในดินกับดินที่ผสมเปลือกไข่ด้วยน้ำกลั่นและสารสกัด pH 2.0, 4.2 และ 6.0 พบว่าเปลือกไข่มีประสิทธิภาพในการลดการชะละลายโลหะหนัก การเพิ่มปริมาณเปลือกไข่ในอัตราที่สูงขึ้นส่งผลให้การชะละลายโลหะหนักมีแนวโน้มลดลง ช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมให้แก่ดิน (ธินัฐดา, 2545) ทั้งนี้ pH มีผลต่อการชะละลายโลหะหนักให้เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ยกเว้นตะกั่วและโครเมียม ไม่พบการชะละลายออกจากดิน เมื่อทดสอบกับเปลือกไข่ผสมกับดินในอัตราที่สูงขึ้น คือ 10:7, 10:9, 10:11, 10:13 และ 10:15 กรัม ตามลำดับ ชะด้วยสารสกัด pH 6.0 ซึ่งมีค่า pH ใกล้เคียงกับน้ำฝน พบว่าการใช้เปลือกไข่ปริมาณ 7.00 กรัม ขึ้นไป ร้อยละการชะละลายโลหะหนักมีแนวโน้มสูงขึ้น หรือประสิทธิภาพของเปลือกไข่ในการชะละลายโลหะหนักลดลง

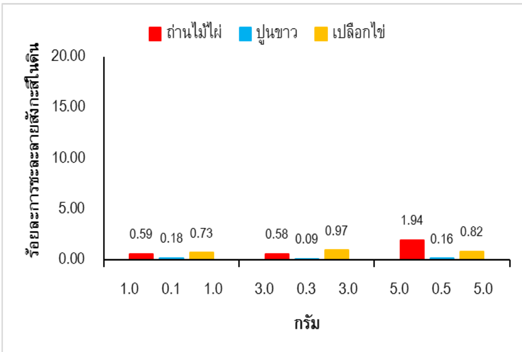
เมื่อพิจารณาร้อยละการชะละลายโลหะหนักในดินภายหลังผสมวัสดุลดการชะละลาย พบว่าแคดเมียม เหล็ก สังกะสี และทองแดง ได้รับอิทธิพลของ pH สามารถถูกชะละลายตามการเปลี่ยนแปลงของ pH ในดินและเมื่อเปรียบเทียบความสามารถของวัสดุเหลือทิ้ง (ถ่านไม้ไผ่ ปูนขาว และเปลือกไข่) ในการใช้ประโยชน์เป็นวัสดุลดการชะละลายโลหะหนักในดิน ดังรูปที่ 3-6 พบว่าการผสมดินกับถ่านไม้ไผ่อัตรา 10:1 กรัม มีความสามารถในการลดการชะละลายโลหะหนักได้ดีและลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินได้สูงที่สุด ซึ่งปัญหาสำคัญของพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก คือ การปนเปื้อนแคดเมียมในดินที่ถูกชะละลายจากการทำเหมืองแร่ เกิดการปนเปื้อนแหล่งน้ำ คุณภาพดินไม่เหมาะสมสำหรับอยู่อาศัยและทำการเกษตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นวัสดุผสมกับดินเพื่อลดการชะละลายโลหะหนักออกจากดิน

3.6 ผลการศึกษาการชะละลายแบบต่อเนื่อง

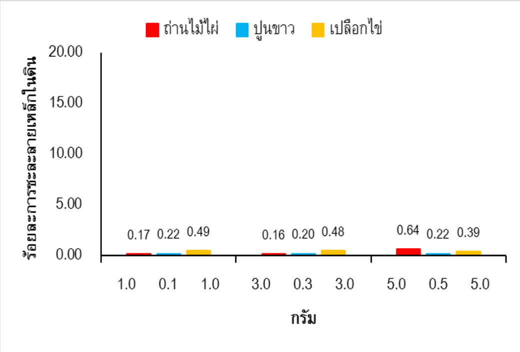
3.6.1 ปริมาณน้ำชะออกจากแบบจำลองการทดลองการชะละลายวิธีต่อเนื่อง



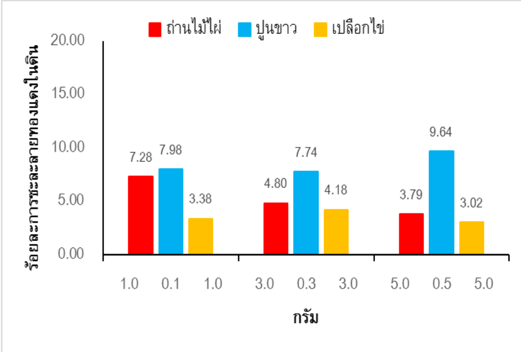
รูปที่ 3 ร้อยละการชะละลายของแคดเมียมในดินที่ผสมกับถ่านไม้ไผ่ ปูนขาว และเปลือกไข่ด้วยน้ำชะ pH 6.0



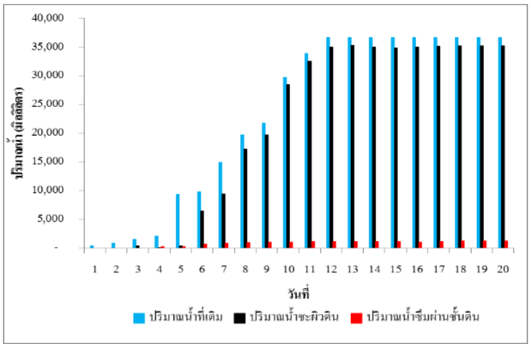
รูปที่ 4 ร้อยละการชะละลายของสังกะสีในดินที่ผสมกับถ่านไม้ไผ่ ปูนขาว และเปลือกไข่ด้วยน้ำชะ pH 6.0



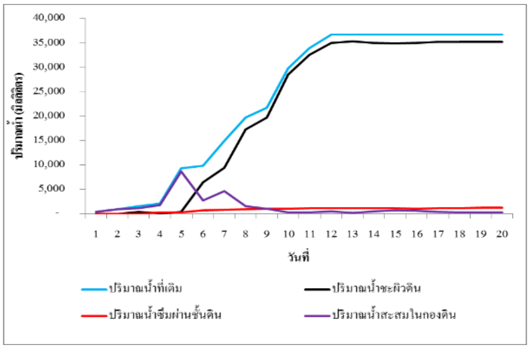
รูปที่ 5 ร้อยละการชะละลายของเหล็กในดินที่ผสมกับถ่านไม้ไผ่ ปูนขาว และเปลือกไข่ด้วยน้ำชะ pH 6.0



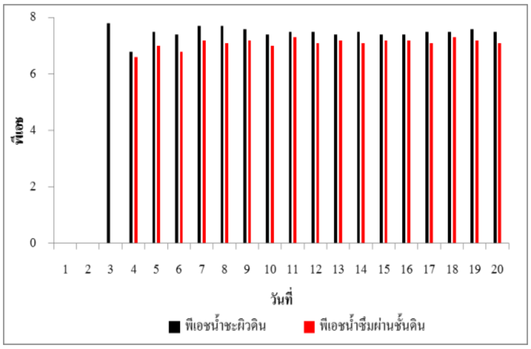
รูปที่ 6 ร้อยละการชะละลายของทองแดงในดินที่ผสมกับถ่านไม้ไผ่ ปูนขาว และเปลือกไข่ด้วยน้ำชะ pH 6.0



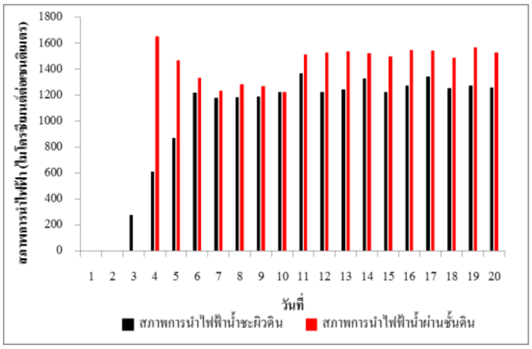
รูปที่ 7 ปริมาณน้ำที่เติม น้ำชะผิวดิน และน้ำซึมผ่านชั้นดิน



รูปที่ 8 ปริมาณน้ำที่เติม น้ำชะผิวดิน น้ำซึมผ่านชั้นดิน และน้ำสะสมในกองดิน



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่า pH น้ำชะผิวดินและน้ำซึมผ่านชั้นดิน



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพการนำไฟฟ้าน้ำชะผิวดินและน้ำซึมผ่านชั้นดิน

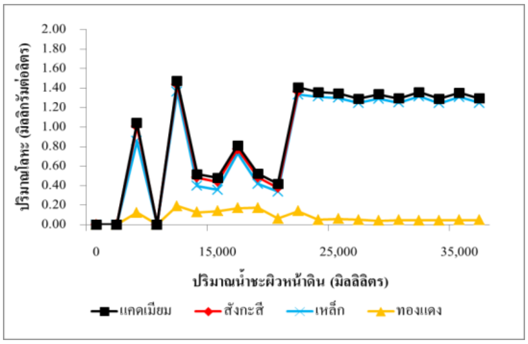
ทดลองโดยรดน้ำฝนจำลองลงบนกองดินวันละครั้ง ซึ่งปริมาณน้ำฝนจำลองที่เติม ปริมาณน้ำชะผิวหน้าดิน และปริมาณน้ำซึมผ่านชั้นดินดังรูปที่ 7 ปริมาณน้ำออก และน้ำสะสมในแบบจำลองสะสมต่อปริมาณน้ำเติมสะสม ดังรูปที่ 8 พบว่าน้ำชะผิวหน้าดินทั้งหมดที่ได้คิดเป็นร้อยละ 91.00 ของปริมาณน้ำที่เติมทั้งหมด ส่วนน้ำซึมผ่านชั้นดินทั้งหมดที่ได้คิดเป็นร้อยละ 3.00 ของน้ำที่เติมทั้งหมด บางส่วนถูกสะสมในกองดินและระเหยสู่อากาศ

3.6.2 ศักยภาพการชะละลายความเป็นกรดและการนำไฟฟ้า

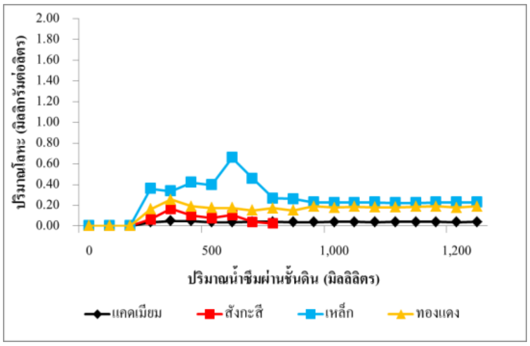
ผลการชะละลายกรดด้วยการชะละลายวิธีแบบต่อเนื่องดังรูปที่ 9 และค่าการนำไฟฟ้าดังรูปที่ 10 พบว่า pH ของน้ำที่ซึมผ่านชั้นดินมีค่าต่ำกว่า pH ของน้ำชะผิวดิน เนื่องมาจากน้ำซึมผ่านชั้นดินถูกกักเก็บอยู่ในดินเป็นเวลานานกว่าน้ำชะที่ไหลผ่านผิวดิน ระยะเวลาจึงมีผลต่อการชะละลายความเป็นกรดที่มีอยู่ในดิน และทำให้อนุภาคของสารปนเปื้อนที่มีประจุอยู่ในดินถูกชะละลายออกมามาก ส่งผลต่อค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำซึมผ่านชั้นดินที่มีค่าสูง

3.6.3 ศักยภาพการชะละลายโลหะหนัก

การทดลองการชะละลายโลหะด้วยวิธีแบบต่อเนื่อง มีปริมาณโลหะหนักในน้ำชะผิวดินดังรูปที่ 11 และน้ำซึมผ่านชั้นดินดังรูปที่ 12 น้ำชะผิวดินมีปริมาณแคดเมียมและเหล็กถูกชะละลายในปริมาณคงที่ ขณะที่ปริมาณสังกะสีและทองแดงถูกชะละลายออกมามีปริมาณลดลง ในส่วนของน้ำซึมผ่านชั้นดิน พบว่าปริมาณสังกะสีและเหล็กที่ถูกชะละลายมีแนวโน้มลดลง ปริมาณแคดเมียมและทองแดงถูกชะละลายออกมาอย่างต่อเนื่อง เมื่อรดน้ำต่อเนื่องจนกระทั่งถึง 36,635 มล. พบว่าไม่พบปริมาณสังกะสีถูกชะละลายในน้ำชะผิวดินและน้ำซึมผ่านชั้นดิน ปริมาณทองแดงที่ถูกชะละลายในน้ำชะผิวดินมีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในน้ำชะผิวดินและน้ำซึมผ่านชั้นดินมีปริมาณเหล็กสูงที่สุดเท่ากับ 0.7881 และ 0.2595 มก./ล. ตามลำดับ โดยน้ำชะผิวดินมีปริมาณโลหะหนักรองลงมา คือ ทองแดง แคดเมียม และสังกะสี เท่ากับ 0.0771, 0.0354 และ 0.0216 มก./ล. ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ขณะที่น้ำซึมผ่านชั้นดินมีปริมาณโลหะหนักรองลงมา คือ ทองแดง และสังกะสี 0.0232 และ 0.1539 มก./ล. ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินที่กำหนด ยกเว้นปริมาณแคดเมียม 0.0342 มก./ล. ซึ่งมีปริมาณเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน (0.0030 มก./ล.)



รูปที่ 11 ปริมาณโลหะในน้ำชะผิวดิน



รูปที่ 12 ปริมาณโลหะในน้ำซึมผ่านชั้นดิน

4. สรุป

4.1 ดินที่ศึกษามีความเป็นด่างเล็กน้อย มีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและปริมาณอินทรียวัตถุที่เหมาะสมกับการ

เจริญเติบโตของพืช และใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูก

4.2 ในดินมีปริมาณแคดเมียม ทองแดง นิเกิล และโครเมียม เท่ากับ 12.25, 14.35, 223.00 และ 65.00 มก./กก.ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด ยกเว้นปริมาณเหล็ก สังกะสี และตะกั่วในดินมีปริมาณเท่ากับ 192.99, 1,353.50 และ 525.00 มก./กก. ตามลำดับ

4.3 เถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 ชนิด ไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัสดุลดการชะละลายโลหะหนักในดิน เนื่องจากมีปริมาณโลหะหนักสูงและมีปริมาณสูงมากกว่าปริมาณโลหะหนักในดิน

4.4 ระยะเวลาสัมผัสและ pH มีผลต่อการชะละลายโลหะหนัก เมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มมากขึ้น และ pH มีค่าต่ำลง โลหะหนักจะมีความสามารถในการชะละลายออกมาปริมาณสูง

4.5 ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นวัสดุลดการชะละลายโลหะหนัก เนื่องจากมีความสามารถในการลดการปนเปื้อนแคดเมียม ซึ่งถูกชะละลายออกจากดินจากพื้นที่เหมืองแร่ได้ดีที่สุด การใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นวัสดุลดการชะละลาย ทำให้การปนเปื้อนของโลหะหนักที่ถูกชะละลายในน้ำชะผิวดินและน้ำซึมผ่านชั้นดินมีการปนเปื้อนลดลง

5. รายการอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน, 2537, คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง การปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ, โครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้, กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

ชาคริยา อมาตยกุล, 2558, การพัฒนาระบบบำบัดแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมสำหรับบำบัดทีเคเอ็นจากน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ไนโตรเจนสูงโดยใช้ถ่านไม้ไผ่, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ธินัฐดา พิมพ์พวง, 2545, คุณสมบัติของเปลือกไข่ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นผักกาดเขียวกวางตุ้ง, ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา, สงขลา.

นันทรัตน์ ศุภกำเนิด, 2558, การจัดการดินและปุ๋ยสำหรับพืชสวน, รายงานการวิจัย, สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, 82 น.

ปรินทร เต็มญารศิลป์, 2551, การเตรียมและวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู๋, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปิยาภรณ์ วรานุสันติกุล, 2544, การกำจัดโลหะหนัก (นิกเกิลและตะกั่ว) และการดูดซับสีประจุบวก (เมทิลลีนบลู) โดยใช้แหนเป็ดใหญ่, ว.วิจัยสหวิทยาการไทย 3(1): 134-145.

วรวัฒน์ สุธรรมน้อย, 2550, สมบัติทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบพอลิโอเลฟินส์และถ่านไม้ไผ่, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วรวุฒิ มัธยันต์, โสภา วิศิษฏ์ศักดิ์ และโจเซฟ เคดารี่, 2553, การเพิ่มประสิทธิภาพบล็อกดินดิบด้านการรับแรงด้วยปูนขาวและเถ้าปาล์มน้ำมัน, แหล่งที่มา : http://rdi.ku.ac.th/kasetresearch54/GroupEconomic/43-Worawut_mat/template.html, 28 ธันวาคม 2558.

สุวพันธ์ รัตนะรัต, 2526, ผลของปูนขาวและปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงดินกรดจัดและปุ๋ยอินทรีย์, กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

อรววณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2543, โครงการขีดจำกัดและผลกระทบจากการใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ทางการเกษตร, สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

Department of Environmental Protection Agency

(Cal/EPA), TCLP and WET Test Methods, Available Source: http://ccelearn.csus.edu /wasteclass/mod6/mod6_05.html, January 30, 2016.

FAO Project staff and Land Classification Division, 1973, Soil Interpretation Handbook for Thailand, Land Classification Division, Department of Land Development, Bangkok.

Jiangtao, Z., juncai, J. and Sie, C.T., 2014, 1-Preparation, Structure and Application of Carbon Nanatubes/Bamboo Chacoal Composite, 2nd Ed., In Tjong, S.C., Nanocrystalline Materails: Their Synthesis-Structure-Property Relationships and Applications, Elsevier, London.

Pendias, A.K. and Pendias, H., 1992, Trace Element in Soils and Plants, 2nd Ed., CRC Press, New York.

Torrent Laboratory, 2011, STLC and TTLC Regulatory Limits, Available Source: http://www.torrentlab.com/torrent/resources/resource/STLC_and_TTLC_Limits.pdf, January 27, 2016.

US EPA, 1992, Stand method 1331 Toxicity Characteristic Leaching Procedure, Available Source: http://www.epa.gov/osw /hazard/testmethods/sw846/pdfs/1311.pdf, December 25, 2015.