



Leaching Potential of Heavy Metals and Toxicity of Sediment in Leachate Treatment Ponds of Municipal Solid Waste Disposal Sites

Nutjaree Muennarin* Chaowalit Warodomrungsimun** Tawach Prechthai**

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the leaching potential of heavy metals and toxicity of sediment in leachate treatment ponds of 4 municipal solid waste (MSW) disposal sites in Thailand. The physical and chemical characteristics of sediment were analyzed in the laboratory. Further, the leaching potential of heavy metals in sediment was measured using the Waste Extraction Test (WET). In addition, seed germination test using lettuce (*Lactuca sativa* L.) was used to evaluate the toxicity of the sediment. The results revealed that concentration of iron in sediment and extracted solution of sediment from the 4 study sites was highest compared with manganese, zinc, copper, lead and nickel. However, the concentrations of zinc, copper,

lead and nickel in the extracted solution were lower than the Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) for sewage and unused materials to be classified as hazardous waste. Nickel and lead in sediment exhibited a higher leaching rate than lead, manganese, zinc and copper. The result of study also showed the toxicity of extracted solution from sediment to the germination rate of lettuce. The result of study may be used to identify appropriate technologies and management measures for sediment from leachate treatment ponds.

Keywords: sediment, leachate treatment pond, municipal solid waste, heavy metals, leaching potential, toxicity

J Public Health 2019; 49(1): 19-31

Article info: Received May 4, 2018; Revised August 30, 2018; Accepted September 3, 2018.

Correspondence: Tawach Prechthai, Department of Environment Health Sciences, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok 10400, THAILAND. E-mail: tawach.pre@mahidol.ac.th

* Graduate student in Master of Science (Environmental Sanitation), Faculty of Public Health and Faculty of Graduate Studies, Mahidol University

** Department of Environment Health Sciences. Faculty of Public Health Mahidol University

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและพฤติกรรมของประชาชน ปัจจุบันวิธีการกองทิ้งกลางแจ้งและการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการกำจัดขยะ ดังข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2557-2559 มีสถานที่กำจัดเพิ่มขึ้นจาก 2,490 เป็น 2,810 แห่ง¹ ในส่วนของจังหวัดนนทบุรีและชลบุรีพบว่า มีปริมาณขยะเกิดขึ้นประมาณ 1,685 และ 2,615 ตันต่อวัน²⁻³ ซึ่งถูกกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)

น้ำชะขยะที่เกิดขึ้นจากสถานที่กำจัดขยะเป็นปัญหาที่ต้องมีการจัดการเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน ผลการศึกษาพบการปนเปื้อนเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง ตะกั่วและนิเกิลในน้ำชะขยะ⁴⁻⁵ จากการศึกษาของ Prechthai และคณะ⁶ พบความเข้มข้นของแมงกานีส สังกะสี ทองแดง ตะกั่วและนิเกิลในน้ำชะขยะที่ 0.490, 1.320, 0.630, 0.100 และ 0.500 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) เป็นเทคโนโลยีชีวภาพหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะขยะ ซึ่งอาศัยกลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียร่วมกับการตกตะกอนของสารแขวนลอย⁷ จากผลการศึกษาตะกอนในระบบบำบัดน้ำชะขยะพบการสะสมของ เหล็ก สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมในตะกอน⁸⁻⁹ โดย Yang และคณะ¹⁰ พบว่า ความเข้มข้นของสังกะสี ทองแดง โครเมียม ตะกั่ว นิเกิล และแคดเมียม ในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำชะขยะ เท่ากับ 3,649, 461, 292, 170, 149 และ 9.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รูปแบบของโลหะหนักในตะกอนดินอาจพบอยู่ในรูปของ

ไอออน การตกผลึกกับคาร์บอเนตและโบคาร์บอเนต เหล็กและแมงกานีสออกไซด์ สารอินทรีย์และซิลไฟด์ และรูปแร่ธาตุที่ไม่ละลายน้ำ¹¹⁻¹² ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการชะละลายและการเกิดพิษของสิ่งมีชีวิต โดย Hardaway และคณะ¹³ พบปริมาณสังกะสีที่ชะละลายจากตะกอนดินสามารถสู่สิ่งแวดล้อมสูงกว่า ตะกั่ว โครเมียมและทองแดง ขณะที่ Clavo และคณะ¹⁴ พบว่า แมงกานีส นิเกิลและสังกะสีมีความสามารถในการชะละลายและมีค่า Bioavailability ที่สูงกว่า ทองแดง โครเมียมและตะกั่ว นอกจากนี้ผลการศึกษาพบความเป็นพิษของตะกอนดินของบ่อบำบัดน้ำชะขยะในการยับยั้งการงอกของข้าวบาร์เลย์และกะหล่ำปลี¹⁰

การสะสมของตะกอนส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบบ่อปรับเสถียร ดังนั้นจึงต้องมีการขุดลอกตะกอนและกำจัดเป็นระยะ อย่างไรก็ตามโลหะหนักที่สะสมในตะกอนดินอาจปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถในการชะละลายของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมและระดับความเป็นพิษของตะกอนดินเพื่อเป็นแนวทางการจัดการตะกอนดินจากบ่อบำบัดน้ำชะขยะอย่างเหมาะสม

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) เพื่อศึกษาการชะละลายของโลหะหนักและความเป็นพิษของตะกอนดินในบ่อบำบัดน้ำชะขยะจากสถานที่กำจัดขยะชุมชน การศึกษาประกอบด้วย การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนดิน การทดสอบการชะละลายของโลหะหนักและการทดสอบความเป็นพิษในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) ของตะกอนดิน



1. กลุ่มตัวอย่างและการสุ่มตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างตะกอนดินจากบ่อบำบัดน้ำชะขยะดำเนินการ ณ สถานที่กำจัดขยะชุมชนจำนวน 4 แห่ง ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม พ.ศ. 2560 ประกอบด้วย จังหวัดนนทบุรี จำนวน 1 แห่ง (NB) และจังหวัดชลบุรี จำนวน 3 แห่ง (CB1, CB2, และ CB3) ซึ่งการสำรวจเบื้องต้นพบจำนวนบ่อบำบัดน้ำชะขยะ ณ แหล่ง NB และ CB1 แห่งละ 1 บ่อ ขณะที่ CB2 และ CB3 แห่งละ 2 บ่อ รวมจำนวนบ่อบำบัดน้ำชะขยะที่ศึกษาทั้งหมด 6 บ่อ โดยทำการสุ่มเลือก (Random Sampling) จุดเก็บตัวอย่างจำนวน 3 จุดต่อบ่อ เพื่อเก็บตัวอย่างตะกอนดินอย่างน้อย 1 กิโลกรัม ด้วยเครื่องเก็บตะกอน Ekman-Bridge Grab Sampler แล้วทำการเก็บในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2. การวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

นำตัวอย่างตะกอนดินจากบ่อบำบัดน้ำชะขยะมาตากแห้งที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปบดและร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐานขนาด 2 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) แล้วเก็บในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส

2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนดิน

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินตาม The American Society of Agronomy และ Soil Science Society of America¹⁵ โดยการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC) ของตะกอนที่อัตราส่วน ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:5 ด้วยเครื่อง pH Meter และ Conductivity Meter ตามลำดับ

ขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter; OM) และไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen; TN) วิเคราะห์โดยวิธี Chromic Acid Titration Method ของ Walkley and Black และ Kjeldahl Nitrogen ตามลำดับ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus; TP) วิเคราะห์โดยวิธี Vanadomolybdate ขณะที่โพแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium; TK) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS)

2.3 การศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักของตะกอนดิน

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดิน ดำเนินการตามวิธี Acid Digestion of Sediments, Sludge, and Soils (Method 3050B)¹⁶ นำตะกอนดินที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ขนาด 0.5 กรัม แล้วสกัดด้วยกรดไนตริกและเปอร์คลอริก อัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 95±5 องศาเซลเซียส จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 และปรับปริมาตรที่ 100 มิลลิลิตร ทำการเตรียมชุดควบคุมที่ปราศจากดินและดำเนินการสกัดตามวิธีการที่กำหนด ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และนิกเกิล (Ni) โดยเครื่อง Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS) โดยแต่ละตัวอย่างของตะกอนดินวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนัก 3 ซ้ำ

2.4 การทดสอบการชะละลายของโลหะหนักในตะกอนดิน

การทดสอบการชะละลายของโลหะหนักในตะกอนดินดำเนินการตามวิธี Waste Extraction Test (WET) โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม¹⁷ โดยใส่ตะกอนดินขนาด 50 กรัม ในขวดพลาสติกขนาด



1 ลิตร แล้วเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ pH 5.0±0.1 ขนาด 500 มิลลิลิตร ทำการปิดฝาขวดและเขย่า โดยใช้เครื่อง Rotary Extractor เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นแยกตะกอนด้วยแรงเหวี่ยงและกรองผ่าน กระดาษกรองเมมเบรน ขนาดรูกรอง 0.45 ไมครอน สารสกัดที่ได้ถูกเก็บในขวดโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการเตรียมชุดควบคุมที่ปราศจาก ตะกอนดินและดำเนินการตามวิธีที่กำหนด โดยแต่ละ ตัวอย่างตะกอนดินจะดำเนินการสกัด 3 ซ้ำ วิเคราะห์ ความเข้มข้นเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และนิกเกิล (Ni) ในสารสกัด โดยเครื่อง Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS)

2.5 การทดสอบความเป็นพิษของตะกอนดิน

- การเตรียมตัวอย่างสารสกัดตะกอนดิน

การเตรียมสารสกัดจากตะกอนดิน ดำเนินการตามวิธี Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test¹⁸ โดยทำการผสมตะกอนดิน และน้ำปราศจากไอออน (Deionized Water; DI) ที่อัตราส่วน 1:10 ในขวดรูปชมพู่แล้วเขย่าโดยใช้

Table Shaker เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อตกตะกอน จากนั้นทำการกรองด้วย กระดาษกรอง เบอร์ 1

- การทดสอบความเป็นพิษต่อการงอกของเมล็ดพืช (Seed Germination Test)

การทดสอบความเป็นพิษต่อการงอกของเมล็ดผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) โดยใช้เมล็ดผักกาดหอมใน 10% Hypochlorite เป็นเวลา 20 นาที แล้วล้างด้วยน้ำ DI จำนวน 10 ครั้ง วางเมล็ดผักกาดหอมในจานเพาะเชื้อจำนวน 3 จาน ที่รองด้วยกระดาษกรอง จำนวน 10 เมล็ดต่อจาน แล้วเติมสารสกัด 10 มิลลิลิตร และทำการเตรียมชุดควบคุมโดยใช้น้ำ DI แทนสารสกัด จากนั้นปิดฝา จานเพาะเชื้อแล้วบ่มในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง¹⁸ ทำการบันทึก ความยาวรากและจำนวนเมล็ดผักกาดหอมที่งอก แล้วคำนวณอัตราการงอก (Relative Seed Germination) ความยาวราก (Relative Root Growth) และดัชนีการงอก (Germination Index) ของเมล็ด ผักกาดหอม⁶ ดังสมการที่ (1), (2) และ (3)

Relative Seed Germination (RSG) = $\frac{Ss}{Sc} \times 100$ (1)

Relative Root Growth (RRG) = $\frac{Rs}{Rc} \times 100$ (2)

Germination Index (GI) = $\frac{RSG \times RRG}{100}$ (3)

เมื่อ Ss = จำนวนเมล็ดที่งอกในตัวอย่าง
Rs = ความยาวรากเฉลี่ยในตัวอย่าง

Sc = จำนวนเมล็ดที่งอกในชุดควบคุม
Rc = ความยาวรากเฉลี่ยในชุดควบคุม



3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดินและสารสกัด อัตราการชะละลายของโลหะหนัก และระดับความเป็นพิษของตะกอนดินต่อการงอกของเมล็ดผักกาดหอมมีการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสถานที่กำจัดขยะชุมชนทั้ง 4 แห่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น $p < 0.05$ โดยวิธี Kruskal-Wallis Test และ One-Way ANOVA งานวิจัยนี้ได้รับการกลั่นกรองและตรวจรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตามหมายเลขรับรองที่ 18/2560 วันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2560

ผลการศึกษา

1. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินจากบ่อบำบัดน้ำชะขยะ

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินในบ่อบำบัดน้ำชะขยะจากสถานที่กำจัดขยะชุมชนแสดงในตารางที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนดินมีค่าเฉลี่ย 7.70 ± 0.45 ขณะที่ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ย 2.80 ± 0.50 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 1.20 ± 0.55 ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.040 ± 0.02 , 0.007 ± 0.003 และ 0.010 ± 0.004 ตามลำดับ เมื่อจำแนกตามสถานที่กำจัดขยะพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดระหว่างสถานที่กำจัดขยะชุมชนทั้ง 4 แห่ง

2. ความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดิน

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดิน (ตารางที่ 1) พบว่า ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีสและสังกะสี มีค่าเฉลี่ย $15,756.50 \pm 9,081.20$, 990.25 ± 925.90 และ 83.30 ± 39.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในส่วนของทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิลในตะกอนดินมีค่าเฉลี่ย 19.95 ± 17.85 , 18.40 ± 16.20 และ 7.60 ± 5.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสถานที่กำจัดขยะชุมชนทั้ง 4 แห่ง พบความแตกต่างของเหล็ก สังกะสี ทองแดง ตะกั่วและนิกเกิลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างของแมงกานีสในตะกอนดิน โดยตะกอนดินจาก NB พบความเข้มข้นของเหล็ก ทองแดงและนิกเกิลสูงสุด ขณะที่ CB2 มีความเข้มข้นของแมงกานีส สังกะสีและตะกั่วสูงที่สุด

23

3. การชะละลายของโลหะหนักในตะกอนดินจากบ่อบำบัดน้ำชะขยะ

ความเข้มข้นของโลหะหนักในสารสกัดจากตะกอนดินแสดงในตารางที่ 2 ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิลในสารสกัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง NB และ CB1-CB3 โดยความเข้มข้นของเหล็กมีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะหนักอื่น โดยที่ CB1 พบว่ามีความเข้มข้นของนิกเกิลต่ำสุด คือ 0.055 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ CB2 และ CB3 มีความเข้มข้นของทองแดงต่ำสุด คือ 0.013 และ 0.106 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นของสังกะสี ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิลในสารสกัดยังมีค่าไม่เกินเกณฑ์ Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) ของสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตราย¹⁷

การวิเคราะห์อัตราการชะละลายของโลหะหนักจากตะกอนดิน (รูปที่ 1) พบว่า นิกเกิลในตะกอนดินจาก NB และ CB2 มีอัตราการชะละลายสูงสุด คือ ร้อยละ 10.30 และ 46.60 สอดคล้องกับ CB1 พบอัตราการชะละลายของนิกเกิลและตะกั่ว ร้อยละ 28.42 และ 32.00 ขณะที่ CB3 มีค่าร้อยละ 34.72 และ 38.44 ผลการศึกษาพบว่า อัตราการชะละลายของเหล็กในตะกอนดินจาก NB, CB1, CB2 และ CB3 มีค่าต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 0.11, 0.33, 0.07 และ 0.18 ตามลำดับ

4. ความเป็นพิษของตะกอนดิน

ความเป็นพิษของตะกอนดินในการยับยั้ง

การงอกของเมล็ดผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) ดังแสดงในรูปที่ 2 ผลการศึกษาพบเมล็ดผักกาดหอมที่ทดสอบกับสารสกัดของตะกอนดินจาก NB และ CB1-CB3 มีค่าอัตราการงอก (RSG) คือ ร้อยละ 75.33, 84.02, 63.74, และ 68.00 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความยาวราก (RRG) มีค่าเพียงร้อยละ 85.91, 87.15, 69.38, และ 66.40 ตามลำดับ โดยค่าดัชนีการงอก (GI) ของเมล็ดผักกาดหอม มีค่าเพียงร้อยละ 64.93, 74.18, 44.23, และ 45.17 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าค่าดัชนีการงอกของเมล็ดผักกาดหอมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างบ่อน้ำชะขยะทั้ง 4 แห่ง

Table 1 Characteristics of Sediment in Leachate Treatment Ponds of MSW Disposal Sites.

Characteristics	Concentration				Mean $\pm$ SD	Other Studies ¹⁹⁻²²
	NB (n=3)	CB1 (n=3)	CB2 (n=6)	CB3 (n=6)		
pH	8.32	7.24	7.51	7.66	7.70 $\pm$ 0.45 ^a	7.6-8.10
EC (mS/cm)	3.11	3.33	2.26	2.40	2.80 $\pm$ 0.50	7.7-27.5
OM (%)	0.67	1.04	1.95	1.13	1.20 $\pm$ 0.55 ^a	5.15-69.60
TN (%)	0.022	0.024	0.060	0.031	0.040 $\pm$ 0.02 ^a	0.25-5.50
TP (%)	0.008	0.004	0.009	0.007	0.007 $\pm$ 0.003	0.27-2.45
TK (%)	0.012	0.004	0.013	0.010	0.010 $\pm$ 0.004 ^a	0.02-4.0
Fe (mg/kg)	28,187.28	4,817.74	20,959.85	9,807.09	15,756.50 $\pm$ 9,081.20 ^a	10,923.25-36,417
Mn (mg/kg)	637.45	114.23	1,540.61	1,054.11	990.25 $\pm$ 925.9	231.4-2,458.6
Zn (mg/kg)	101.23	64.18	111.79	55.47	83.30 $\pm$ 39.55 ^a	124.1-1,379.3
Cu (mg/kg)	55.51	18.62	12.83	10.04	19.95 $\pm$ 17.85 ^a	33.20-828
Pb (mg/kg)	30.08	2.50	34.54	8.19	18.40 $\pm$ 16.20 ^a	39.70-406.55
Ni (mg/kg)	16.24	1.92	7.39	6.42	7.60 $\pm$ 5.20 ^a	7.10-50.70

Note: ^a $p < 0.05$

Table 2 Concentration of Heavy Metals in the Extracted Solution of Sediment in Leachate Treatment Ponds of MSW Disposal Sites.

Heavy metals	Concentration (mg/L)				STLC ¹⁷ (mg/L)
	NB	CB1	CB2	CB3	
Fe	3.206±1.155	1.605±0.750	1.438±0.220	1.799±0.920	-
Mn	0.490±0.045	0.165±0.060	0.473±0.075	0.440±0.215	-
Zn	0.246±0.160	0.445±0.240	0.491±0.360	0.218±0.155	≤ 250.0
Cu	0.407±0.375	0.240±0.190	0.013±0.006	0.106±0.055	≤ 25.0
Pb	0.164±0.003	0.080±0.015	0.088±0.007	0.315±0.195	≤ 5.0
Ni	0.167±0.070	0.055±0.025	0.344±0.035	0.223±0.150	≤ 20.0

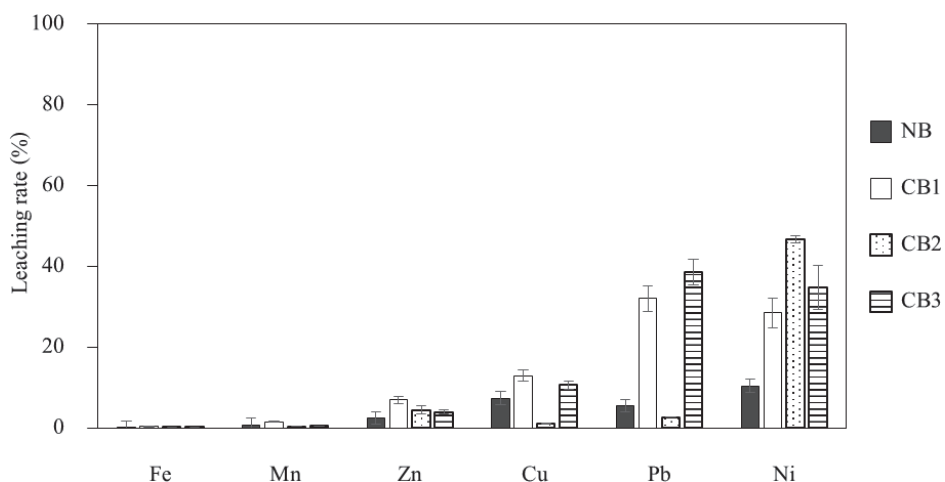


Figure 1 Leaching Rate of Heavy Metals in Sediment in Leachate Treatment Ponds of MSW Disposal Sites.

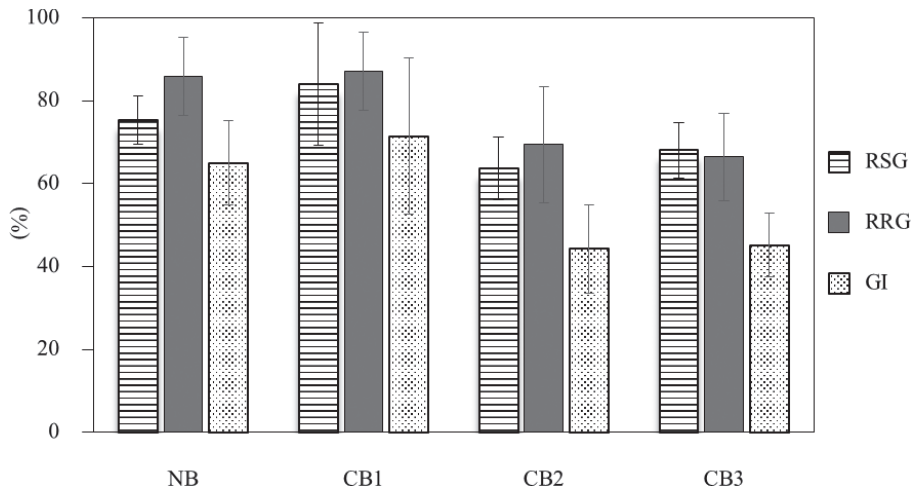


Figure 2 Relative Seed Germination (RSG), Relative Root Growth (RRG) and Germination Index (GI) of *Lactuca sativa* L. in Seed Germination Test of Extracted Solution from Sediment in Leachate Treatment Ponds of MSW Disposal Sites.

26 อภิปรายผล

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินจากระบบบำบัดน้ำชะขยะมีความแตกต่างกันตามแหล่งกำจัดมูลฝอยชุมชน (NB และ CB1-CB3) ตารางที่ 1 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนดินอยู่ในสภาพเป็นกลาง ขณะที่การนำไฟฟ้าและปริมาณอินทรีย์วัตถุอาจบ่งชี้ปริมาณสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในตะกอนดิน นอกจากนี้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดยังแสดงปริมาณสารอาหารที่สะสมในตะกอนดิน ขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณอินทรีย์วัตถุของตะกอนดินมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าดินและตะกอนดินที่พบในการศึกษาอื่น¹⁹⁻²² ความแตกต่างของความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมดและโพแทสเซียมทั้งหมดระหว่างแหล่งกำจัดมูลฝอยอาจจะมีขึ้นถึงคุณภาพตะกอนดินในบ่อบำบัดน้ำชะขยะ ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับลักษณะของขยะและดินในพื้นที่กำจัดขยะ²³ และเมื่อพิจารณาจากการใช้ประโยชน์จากตะกอนดินพบว่า ปริมาณ

สารอาหารในตะกอนดินยังมีค่าต่ำกว่าสารปรับปรุงดินผลิตจากเศษอาหาร²⁴ อย่างไรก็ตามปริมาณโลหะหนักที่พบยังมีค่าตามมาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม²⁵

ความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดินมีความแตกต่างกันตามสถานที่กำจัดขยะชุมชน ผลการศึกษาพบความเข้มข้นของเหล็กมีค่าสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่น (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้¹⁹⁻²² ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของเหล็ก สังกะสี ทองแดง ตะกั่วและนิกเกิลในตะกอนดินระหว่างสถานที่กำจัดขยะชุมชนอาจเกิดจากปัจจัยเฉพาะลักษณะขยะและคุณภาพดินในพื้นที่ดังผลการวิจัยของ Chiemchaisri และคณะ²³ ที่พบความแตกต่างของอัตราการเกิดและองค์ประกอบของขยะของเมืองพัทยาและนนทบุรี

ผลการทดสอบการชะละลายพบว่า ตะกอนดินจากระบบบำบัดน้ำชะขยะไม่จัดเป็นขยะอันตรายจากผลการศึกษา (ตารางที่ 2) ความเข้มข้นสังกะสี



ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิลในสารสกัดจากตะกอนดินจากสถานที่กำจัดขยะชุมชนทั้ง 4 แห่ง มีค่าต่ำกว่า 250, 25, 5.0, และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามเกณฑ์ Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) ของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตราย¹⁷ ดังนั้นตะกอนดินที่ขุดลอกจากระบบบำบัดน้ำชะขยะสามารถกำจัดโดยการฝังกลบร่วมกับขยะทั่วไป ผลการวิเคราะห์สารสกัดทั้ง 4 แห่ง พบว่าเหล็กมีความเข้มข้นสูงที่สุดซึ่งขัดแย้งกับค่าอัตราการชะละลายของโลหะหนักจากตะกอนดิน (รูปที่ 1) ดังพบว่า อัตราการชะละลายของนิกเกิลในตะกอนดินจาก NB และ CB2 มีค่าสูงกว่าเหล็ก ขณะที่ CB1 และ CB3 มีอัตราการชะละลายของตะกั่วและนิกเกิลมีค่าสูงกว่าเหล็ก ดังนั้นความเข้มข้นของโลหะหนักในสารสกัดอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นนอกเหนือจากความเข้มข้นที่พบในตะกอนดิน ผลการศึกษาโดย Oygard และคณะ²⁶ พบว่า โลหะหนักในน้ำชะขยะสามารถพบได้ในรูปของไอออนอิสระ การจับกับไอออนประจุลบและอยู่ในรูปอนุภาคแขวนลอยและคอลลอยด์ ขณะที่โลหะหนักในดินสามารถพบได้ในรูปที่ละลายน้ำได้ การจับกับคาร์บอเนต เหล็ก และแมงกานีสออกไซด์และอินทรีย์สาร และบางส่วนจะอยู่ในรูปไม่ละลายน้ำ¹⁰ Oygard และคณะ¹² พบว่า โลหะหนักในตะกอนดินจากระบบบำบัดน้ำชะขยะส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่จับกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ ยกเว้นทองแดงและโครเมียมที่จับกับสารอินทรีย์ในตะกอน ซึ่งรูปแบบของโลหะหนักในตะกอนดินนี้อาจส่งผลต่อการชะละลายสู่สิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมเป็นกรด²⁷

ผลการทดสอบอัตราการงอกของเมล็ดผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) แสดงความเป็นพิษของตะกอนดินในบ่อบำบัดน้ำชะขยะ (รูปที่ 2) ผลการศึกษาพบค่า

ดัชนีการงอก (GI) ต่ำสุดที่ CB2 (ร้อยละ 44.23) ซึ่งแสดงถึงระดับความเป็นพิษของตะกอนดินที่สูงกว่าแหล่งอื่น โดยระดับความเป็นพิษตะกอนดินทั้ง 4 แห่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับการวิจัยที่พบความเป็นพิษของตะกอนดินจากระบบบำบัดน้ำชะขยะต่อการงอกของเมล็ดข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ และกะหล่ำปลี^{10,28} โดยนอกจากโลหะหนัก เช่น ทองแดง แคดเมียม สังกะสี นิกเกิลและตะกั่วแล้ว ปริมาณความเค็ม กรดอินทรีย์ และแอมโมเนีย ไนโตรเจนที่สูงยังสามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดพืช²⁹⁻³⁰ ผลการศึกษานี้จึงบ่งชี้ถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ประโยชน์จากตะกอนดินในการเกษตรโดยไม่มีการปรับปรุงคุณภาพหรือการกำจัดโดยการเทกอง ดังมาตรฐานปุ๋ยหมักของประเทศไทย กำหนดค่าดัชนีการงอกของปุ๋ยหมักต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80³¹

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดินมีความแตกต่างกันระหว่างสถานที่กำจัดขยะ ผลการวิเคราะห์การชะละลายโลหะหนักในดินพบว่า อยู่ในระดับต่ำกว่าค่า Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) ของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตราย จึงอาจจะกำจัดร่วมกับขยะทั่วไปได้ อย่างไรก็ตามผลการทดสอบการงอกของเมล็ดพืชยังพบความเป็นพิษของตะกอนดินในการยับยั้งการงอกของเมล็ดพืช ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากตะกอนดินหากไม่มีการปรับปรุงคุณภาพหรือการกำจัดที่ไม่เหมาะสม เช่น การเทกอง



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยชุมชน ในจังหวัดนนทบุรีและจังหวัดชลบุรีที่อนุเคราะห์พื้นที่ ทำการศึกษาและอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง ตะกอนดิน ศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม และพิษวิทยา และภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัย สิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลที่ให้ความสนับสนุนอุปกรณ์ และเครื่องมือ วิทยาศาสตร์ในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Pollution Control Department. Report on the situation of community waste in Thailand 2559. Available at http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_report.cfm?task=wsthaz___annual59, accessed February 2, 2018.
2. The Regional Environment Office 6 (Nonthaburi). Solid waste that occurred in the year 60. Available at <http://reo06.mnre.go.th/newweb/images/file/report2561/garbage-province.pdf>, accessed June 15, 2018.
3. The Regional Environment Office 13 (Chonburi). Solid waste statistics in Chonburi. Available at <http://www.mnre.go.th/attachment/lu/download.php?WP=nKI4nKN1oGM3ZHkCoMOahKGtnJg4WaNjoGy3ZHj2oH9axUF5nrO4MMNo7o3Qo7o3Q>, accessed June 15, 2018.
4. Ghosh P, Gupta A, Thakur IS. Combined chemical and toxicological evaluation of leachate from municipal solid waste landfill sites of Delhi, India. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015; 22: 9148-58.
5. Ishak AR, Mohamad S, Soo TK, Hamid FH. Leachate and surface water characterization and heavy metal health risk on cockles in Kuala Selangor. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2016; 222: 263-71.
6. Prechthai T, Parkpian P, Visvanathan C. Assessment of heavy metal contamination and its mobilization from municipal solid waste open dumping site. *Journal of Hazardous Materials*. 2008; 156: 86-94.
7. Metcalf and Eddy, Inc. *Wastewater Treatment Engineering and Reuse*. 4th ed. Singapore: McGraw-Hill; 2004.
8. Doni S, Macci C, Peruzzi E, Iannelli R, Masciandaro G. Heavy metal distribution in a sediment phytoremediation system at pilot scale. *Ecological Engineering*. 2015; 81: 146-57.
9. Adedosu HO, Adewuyi GO, Adie GU. Assessment of heavy metals in soil, leachate and underground water samples collected from the vicinity of Olusosun landfill in Ojota, Lagos, Nigeria. *Transnational Journal of Science and Technology*. 2013; 3(6): 73-86.



10. Yang K, Zhu Y, Shan R, Shao Y, Tian C. Heavy metals in sludge during anaerobic sanitary landfill: Speciation transformation and phytotoxicity. *Environmental Management*. 2017; 189: 58-66.
11. Alloway BJ. Soil processes and the behavior of heavy metals, in: B.J. Alloway (Ed.), *Heavy Metals in Soils*, second ed., Chapman and Hall, London, UK, 1995, pp. 11-37.
12. Oygard JK, Gjengedal E, Mobbs HJ. Trace element exposure in the environment from MSW landfill leachate sediments measured by a sequential extraction technique. *Journal of Hazardous Materials*. 2008; 153: 751-8.
13. Hardaway C, Gauthreaux K, Sneddon J, Beck JN. Evaluation of contaminated sediments by toxicity characteristic leaching procedure extraction techniques. *Journal of Microchemical*. 1999; 63: 398-404.
14. Calvo JU, Santos MM, Romera ER. Chemical and physiological metal bioaccessibility assessment in surface bottom sediments from the Deba River urban catchment: Harmonization of PBET, TCLP and BCR sequential extraction methods. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017; 138: 260-70.
15. American Society of Agronomy. *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2 ed. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America: Wisconsin, USA. 1982.
16. United States Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid digestion of sediments sludges and soils. Available at <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>, accessed May 2, 2016.
17. Ministry of Industry. Notification of Ministry of Industry. Industrial Sewage or unused materials disposal in 2548. Available at <http://www2.diw.go.th/PIC/download/waste/waste11.pdf>, accessed May 2, 2016.
18. United States Environmental Protection Agency. Ecological effects test guidelines: OPPTS 850.4200: Seed germination/ root elongation toxicity test. 1996; EPA712: 96-154. Available at <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100RF5I.PDF?Dockkey=P100RF5I.PDF>, accessed May 2, 2016.
19. Salem ZB, Capelli N, Laffray X, Elise G, Ayadi H, Aleya L. Seasonal variation of heavy metals in water, sediment and roach tissues in a landfill draining system pond (Etueffont, France). *Ecological Engineering*. 2014; 69: 25-37.

20. Sharifi Z, Hossaini SM, Renella G. Risk assessment for sediment and stream water polluted by heavy metals released by a municipal solid waste composting plant. *Journal of Geochemical Exploration*. 2016; 169: 202-10.
21. Pastor J, Hernandez AJ. Heavy metals, salts and organic residues in old solid urban waste landfills and surface waters in their discharge areas: Determinants for restoring their impact. *Journal of Environmental Management*. 2012; 95: 42-9.
22. Mavakala BK, Faucheur SL, Mulaji CK, Laffite A, Devarajan N, Biey EM, et al. Leachates draining from controlled municipal solid waste landfill: Detailed geochemical characterization and toxicity tests. *Waste Management*. 2016; 55: 238-48.
23. Chiemchaisri C, Juanga JP, Visvanathan C. Municipal solid waste management in Thailand and disposal emission inventory. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2007; 135: 13-20.
24. Kaewcumfu T, Sreesai S, Prechthai T, Lexdumrong M, Chalermklin W. Windrow composting of food and yard wastes. *J Public Health*. 2017; 47(2): 131-41.
25. Pollution Control Department. Standards of soil quality for residential and agricultural use. Available at http://www.pcd.go.th/info__serv/reg__std__soil01.html#s1, accessed February 2, 2018.
26. Oygard JK, Gjengedal E, Royset O. Size charge fractionation of metals in municipal solid waste landfill leachate. *Water Research*. 2007; 41: 47-54.
27. Xiaoli C, Shimaoka T, Xianyan C, Qiang G, Youcai Z. Characteristics and mobility of heavy metals in an MSW landfill: Implications in risk assessment and reclamation. *Journal of Hazardous Materials*. 2007; 144: 485-91.
28. Walter I, Martinez F, Cala V. Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three representative sewage sludges for agricultural uses. *Environmental Pollution*. 2006; 139: 507-14.
29. Wan X, Wu W, Li C, Liu Y, Wen X, Liao Y. Soil ammonia volatilization following urea application suppresses root hair formation and reduces seed germination in six wheat varieties. *Environmental and Experimental Botany*. 2016; 132: 130-9.
30. Luo Y, Liang J, Zeng G, Chen M, Mo D, Li G, et al. Seed germination test for toxicity evaluation of compost: Its roles, problems and prospects. *Waste Management*. 2018; 71: 109-14.
31. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. Thai Agricultural Standard TAS 9503-2005. Compost. Ministry of Agriculture and Cooperatives: Bangkok. 2548.



ศักยภาพการชะละลายของโลหะหนักและความเป็นพิษของตะกอนดิน จากระบบบำบัดน้ำชะขยะในสถานที่ฝังกลบขยะชุมชน

นุชจริย์ หมื่นนรินทร์* ขวลิศ วโรตมรังสีมันต์** ธวัช เพชรไทย**

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาศักยภาพการชะละลายของโลหะหนักและความเป็นพิษของตะกอนดินในบ่อบำบัดน้ำชะขยะจากสถานที่กำจัดมูลฝอยชุมชน 4 แห่งในประเทศไทย ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินถูกวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ขณะที่การชะละลายของโลหะหนักในตะกอนดินถูกทดสอบโดยวิธี Waste Extraction Test (WET) นอกจากนี้มีการทดสอบการงอกของเมล็ดพืชโดยใช้เมล็ดผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) เพื่อประเมินความเป็นพิษของตะกอนดิน ผลการศึกษาพบความเข้มข้นของเหล็กในตะกอนดินและสารสกัดของตะกอนดินจากพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 แห่ง มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแมงกานีส สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิล อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของสังกะสี

ทองแดง ตะกั่วและนิกเกิลในสารสกัดมีค่าต่ำกว่าระดับ Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) ของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตราย ซึ่งนิกเกิลและตะกั่วพบว่าเมื่ออัตราการชะละลายจากตะกอนดินสูงกว่าเหล็ก แมงกานีส สังกะสีและทองแดง ผลการศึกษายังพบความเป็นพิษของสารสกัดจากตะกอนดินต่อการงอกของเมล็ดผักกาดหอม การศึกษานี้อาจใช้เป็นแนวทางในการกำหนดเทคโนโลยีและมาตรการที่เหมาะสมในการจัดการตะกอนดินจากระบบบำบัดน้ำชะขยะ

คำสำคัญ: ตะกอนดิน, บ่อบำบัดน้ำเสีย, ขยะชุมชน, โลหะหนัก, ศักยภาพการชะละลาย, ความเป็นพิษ

* นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสุขภาพสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

** ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล