

การดูดซับและการปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีสของดิน
ที่มีองค์ประกอบเป็นดินเหนียว
**Absorption and Desorption of Lead and Manganese
in Clay-Textured Soil**

รัตนา แก้วศรีวงศ์,
วัชรพงษ์ วาระรัมย์ และ อรอนงค์ ผิวนิล
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
**Lattana Keosivongsa,
Watcharapong Wararam and Onanong PhewnI**
Kasetsart University, Thailand
Corresponding Author, Email: lattana.k@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการดูดซับและการปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีสในดินพื้นที่เกษตรกรรมที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว ศึกษาปัจจัยของค่าพีเอช (pH) ที่มีผลต่อการดูดซับและปลดปล่อย โดยกำหนดค่า pH เท่ากับ 5.0 7.0 9.0 และชุดควบคุม (pH ของดิน 6.4) ตรวจวัดโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 217 และ 297 นาโนเมตร สำหรับตะกั่วและแมงกานีส ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า การดูดซับตะกั่วของดินอยู่ในช่วงร้อยละ 96.05 และ 99.28 ความจุในการดูดซับอยู่ในช่วง 0.192-0.199 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับแมงกานีส ค่า pH 5.0 7.0 9.0 เท่ากับร้อยละ 100 ทั้ง 3 ค่าของ pH ส่วนชุดควบคุมเท่ากับร้อยละ 47.58 ตามลำดับ ความจุในการดูดซับเท่ากับ 0.200 0.200 และ 0.200 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การปลดปล่อยตะกั่ว pH 5.0 7.0 9.0 และชุดควบคุม เท่ากับร้อยละ 5.21 5.48 6.17 และ 4.53 ตามลำดับ ส่วนแมงกานีส pH 5.0 7.0 9.0 ไม่มีการปลดปล่อยและชุดควบคุม เท่ากับร้อยละ 2.34 จากผลการวิจัยนี้แสดงว่าตะกั่วและแมงกานีสถูกดูดซับในดินซึ่งสามารถทำให้เกิดการปนเปื้อนในดินเกษตร และยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบและเลือกตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการกำจัดหรือลดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินได้

คำสำคัญ: การดูดซับ; การปลดปล่อย; ดินเหนียว; ตะกั่ว; แมงกานีส

* วันที่รับบทความ : 16 กรกฎาคม 2567; วันแก้ไขบทความ 1 สิงหาคม 2567; วันตอบรับบทความ : 1 สิงหาคม 2567

Received: July 16 2024; Revised: August 1 2024; Accepted: August 1 2024

Abstracts

This research aims to assess the absorption and desorption of lead (Pb) and manganese (Mn) in clay-textured agricultural soil through adsorption and release studies. Specifically, the study investigates the impact of pH values (5.0, 7.0, 9.0, and the control at soil pH of 6.4) on the absorption and desorption of these heavy metals, measured by using an atomic absorption spectrometer at wavelengths of 217 nm for lead and 279 nm for manganese. Results indicate that lead absorption ranged from 96.05% to 99.28%, with corresponding adsorption capacities of 0.192 to 0.199 mg/g. For manganese, absorption at pH 5.0, 7.0, and 9.0 was 100%, while the control exhibited 47.58%. The adsorption capacities were 0.200 and 0.095 mg/g. Regarding release, lead percentages at pH 5.0, 7.0, 9.0, and the control were 5.21%, 5.48%, 6.17%, and 4.53%, respectively. Manganese did not release at pH 5.0, 7.0, 9.0, and the control, with only 2.34% release. The study concludes that lead and manganese are absorbed in the soil, potentially causing agricultural soil contamination. Additionally, this absorption property can be valuable in designing efficient adsorbents for removing or reducing heavy metal contamination in soil.

Keywords: Adsorption; Desorption; clay Soils; lead; manganese

บทนำ

โลหะหนักในดินเป็นสารปนเปื้อนที่ไม่สามารถย่อยสลายในธรรมชาติ ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพของมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ โดยโลหะหนัก ที่มาจากน้ำเสียและน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม หากมีการกำจัดของปนเปื้อนโลหะหนักที่ไม่ดีจะทำให้ดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักเสื่อมโทรม และทำให้โลหะหนักเข้าสู่พืช และน้ำใต้ดิน ซึ่งเมื่อบริโภคจะส่งผลกระทบต่อวัฏจักรห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศเกษตรกรรมและสุขภาพของมนุษย์ (Wang et al., 2007 : 221-225; Monika et al., 2020 : 146021) ดังนั้น การป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษปนเปื้อนโลหะหนักในดินเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องดำเนินการอย่างเหมาะสม

โลหะหนักในดินเกษตรมีผลกระทบต่อผลผลิต อาหาร สุขภาพของมนุษย์และสัตว์ที่บริโภค (Liu et al., 2020 :139987) โลหะหนักที่พบบ่อยที่สุดในดินได้แก่ Pb, Mn, Cu, Fe, Ni และ Zn ซึ่งบางชนิดเป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช แต่บางชนิดเป็นพิษถ้ามีปริมาณมากเกินไป (Mosai et al., 2022 :109872) ปริมาณความเป็นพิษของโลหะหนักในพืชขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและชนิดของโลหะหนัก (Jalali et al., 2023 : 132111) สามารถเคลื่อนที่ในดินและน้ำใต้ดินได้ แต่มีการชะลอ เพื่อป้องกันโดยการดูดซับและปลดปล่อยของดิน (Zhang and Zheng, 2007 : 1808-1815) การดูดซับโลหะหนักในดินเป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนย้าย และการดูดซับของโลหะหนักในเฟสของแข็ง ซึ่งมีผลต่อการดูดซึมของพืชและมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาการดูดซับโลหะหนักในดินจึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ลักษณะการเคลื่อนที่และการกักเก็บของโลหะหนักในสารละลายที่มีไอออนบวกของโลหะหนัก (Vidal et al., 2009 : 189-198) งานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาปริมาณการดูดซับโลหะหนักในดิน (Serrano et al., 2005 : 91-104) การดูดซับกลายเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการกำจัดและการกักเก็บโลหะที่เป็นอันตรายจากน้ำเสีย (Bhattacharyya et al., 2008 :1-9) ดูด

ซับหลายประเภทที่ใช้ในการกำจัดไอออนของโลหะออกจากสารละลาย แต่แร่ดินเหนียวและดินเหนียวเป็นตัวกำจัดตามธรรมชาติที่สำคัญที่สุดสำหรับมลพิษเหล่านี้ในดินและน้ำ (Wang et al., 2007: 221-225)

การศึกษาครั้งนี้ เพื่อศึกษาการดูดซับรวมถึงการปลดปล่อยของดินเหนียวที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในดินพื้นที่เกษตรกรรมโดยเฉพาะดินนาในการดูดซับตะกั่วและแมงกานีส ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ได้แก่ ค่า pH ที่แตกต่างกัน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นแนวทางสำหรับหารูปแบบการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการดูดซับและการปลดปล่อย ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) จากดินพื้นที่การเกษตร

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเตรียมตัวดูดซับ

เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เกษตรกรรมปริมาณ 2 กิโลกรัม นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม หลังจากนั้นบดและร่อนผ่านตะแกรงกรอง (Sieve) เพื่อร่อน ขนาด 2.0 มิลลิเมตร นำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์สมบัติของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เนื้อดิน (Soil texture) และความสามารถในการการนำไฟฟ้าของ (Electrical Conductivity: EC) จากนั้นศึกษาการดูดซับและการปล่อยของดิน (adsorption and desorption) โดยใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) และแมงกานีส (Mn) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ซึ่งมีความเข้มข้นสูงสุดที่ตรวจพบใกล้กับพื้นที่เกษตรกรรมที่รองรับแหล่งปนเปื้อนจากเหมืองตะกั่ว)

2. ศึกษาปัจจัยของ pH ที่มีผลต่อการดูดซับและการปลดปล่อย

เตรียมสารละลาย ตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรและแมงกานีส เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยละลายสารด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้เท่ากับ 5.0 7.0 9.0 และชุดควบคุม (ไม่ปรับ pH) โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 N เพื่อลดค่า pH และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 N เพื่อเพิ่มค่า pH นำไปเขย่าด้วยเครื่อง (shaker) ที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาตั้งทิ้งไว้นาน 30 นาที และนำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ Whatman No.42 หลังจากนั้นย่อยตัวอย่างด้วยกรดไนตริก นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ Whatman No.42 และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตร วิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer ความยาวคลื่น 217 และ 279 นาโนเมตร สำหรับตะกั่ว และแมงกานีส ตามลำดับ

3. คำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ

คำนวณความสามารถในการดูดซับจากร้อยละการกำจัดตะกั่วและแมงกานีส (สมการที่ 1) และความจุการดูดซับตะกั่วและแมงกานีสที่สมดุล (สมการที่ 2)

$$(1) \quad \text{Adsorption (\%)} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100$$

$$(2) \quad q_e(\text{mg/g}) = \frac{(C_0 - C_e)}{W} V$$

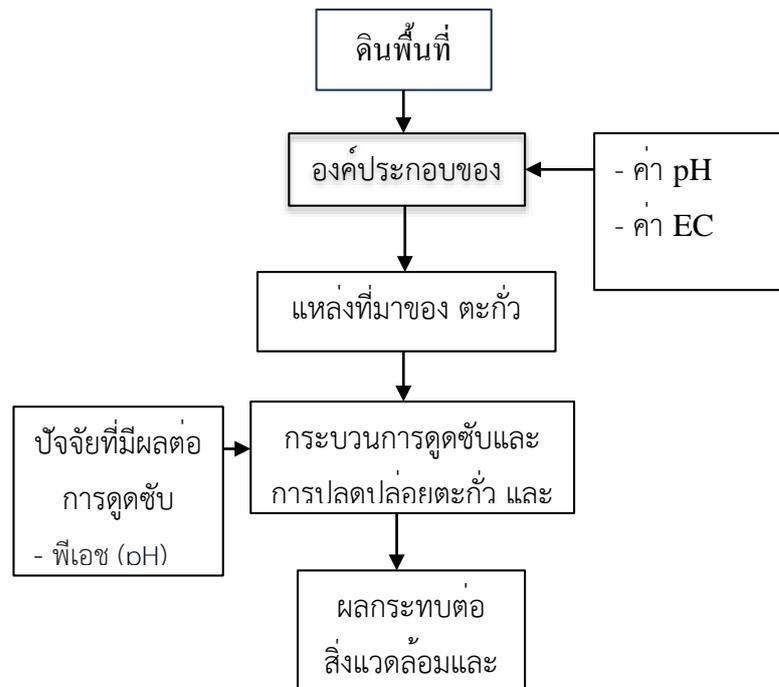
โดย C_0 คือ ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร) C_e คือ ความเข้มข้นของตะกั่วที่ สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) q_e คือ ความจุการดูดซับตะกั่วที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม) V คือ ปริมาตรสารละลาย ตะกั่ว (ลิตร) W คือ ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ร้อยละการกำจัดตะกั่ว, แมงกานีส และความจุการดูดซับตะกั่ว แมงกานีสที่สมดุลด้วยสถิติ วิเคราะห์ ความแปรปรวนแบบแจกแจงทางเดียว (One-way ANOVA) ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 และเปรียบเทียบ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรม สำเร็จรูป SPSS for Windows Version 23

กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยเรื่องการดูดซับและการปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีสของดินที่มีองค์ประกอบเป็นดินเหนียวดังนี้



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ผลการวิจัย

1. คุณลักษณะของดิน

ตัวอย่างดินเป็นดินพื้นที่การเกษตรซึ่งผ่านการฝังลม บดและร่อนผ่านตะแกรงกรองที่มีช่องขนาด 2 มิลลิเมตร มีสีดำล้าคุณลักษณะดินพื้นที่เกษตร (ตารางที่ 1) โดยพบว่าดินพื้นที่เกษตร มีค่า pH เท่ากับ 6.4 ค่า pH จะมีความเป็นกรดเล็กน้อย แต่ก็ยังอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง (pH=7) และถือว่าไม่มีความเป็นกรดสูง ค่า pH ของดินเหนียวมีอิทธิพลต่อการดูดซับ และการเคลื่อนตัวของธาตุต่างๆ รวมถึงตะกั่วและแมงกานีส (Aysen and Behnam, 2012 : 151-160) ลักษณะเนื้อดินมีองค์ประกอบของดินเหนียว 52.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอนุภาคดินเหนียวมีประจุสุทธิเป็นลบจึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับกับตะกั่วและแมงกานีส ซึ่งอยู่ในรูปของ Pb^{2+} และ Mn^{2+} (Ugwu et al., 2019 : 1-23) ความสามารถในการนำไฟฟ้าของ (EC) ในสารละลายดินพื้นที่การเกษตรปริมาณ 96.8 mS/cm สิ่งนี้มีประโยชน์หลายประการในสภาพแวดล้อมทางการเกษตร

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของดินพื้นที่เกษตร

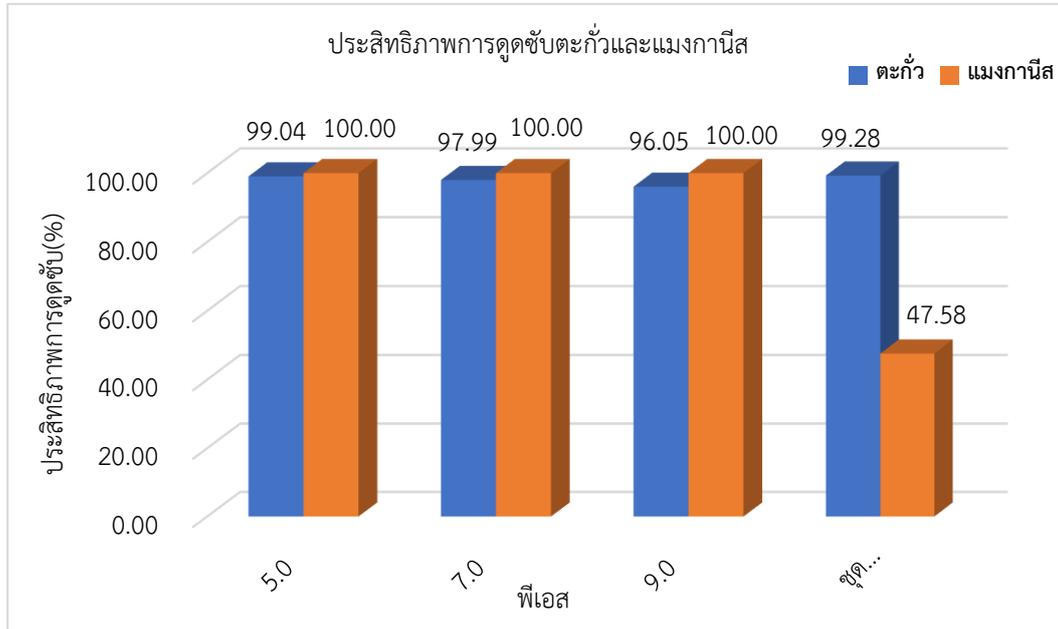
คุณสมบัติ	ผลการวิเคราะห์
พีเอช (2:1)	6.4
การนำไฟฟ้าของ (mS/cm)	96.8
เนื้อดิน (Soil texture)	ดินเหนียว(Clay)
ทราย (%)	11.02
ทรายแป้ง(%)	36
ดินเหนียว (%)	52.6

1. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วและแมงกานีส

การศึกษาการดูดซับโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด ตะกั่วและแมงกานีสโดยทำการทดลองหาค่า pH ที่มีความสามารถในการดูดซับและการปลดปล่อยโดยใช้เวลาเข้าสู่สมดุลที่ 24 ชั่วโมง ตามวิธีการดูดซับตะกั่วแมงกานีส ของ (OECD, 2000) ดังนี้

1.1 อิทธิพลของพีเอช ต่อการดูดซับตะกั่วและแมงกานีสในดิน

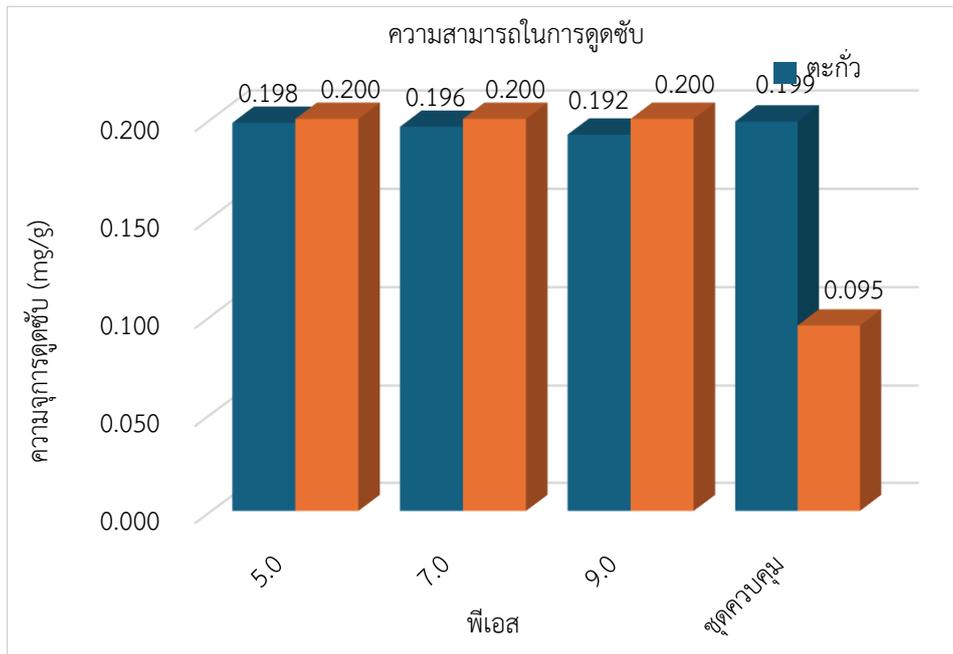
ผลการศึกษาอิทธิพล pH ต่อประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่ว พบว่า ที่ค่า pH เท่ากับ 5.0 และชุดควบคุม ประสิทธิภาพการดูดซับไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 99.04 และ 99.28 ตามลำดับ ส่วน pH 7.0 และ 9.0 ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 97.99 และ 96.05 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับ pH 5.0 และชุดควบคุม ทั้งนี้เมื่อ pH เพิ่มขึ้นในสารละลายจะมีไอออนลบของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) มากขึ้นจึงส่งผลทำให้ตะกั่วที่มีประจุบวกมีโอกาสจับตัวกับไอออนลบของ OH^- ในสารละลายเกิดการตกตะกอนมากกว่าการดูดซับที่พื้นผิวของดิน ส่งผลให้การดูดซับลดลง สำหรับแมงกานีส พบว่า ค่า pH เท่ากับ 5.0 7.0 และ 9.0 ประสิทธิภาพการดูดซับไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 100 ตามลำดับ ส่วนชุดควบคุม ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 47.58 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับ pH 5.0 7.0 และ 9.0 เมื่อ pH เพิ่มขึ้นสารละลายจะมีไอออนลบของ OH^- ประจุลบของพื้นผิวจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีอิเล็กตรอนอิสระจาก OH^- ประจุลบที่เพิ่มขึ้นจะดึงดูดแมงกานีส (Mn^{2+}) ผ่านแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตส่งผลให้มีจุดยึดสำหรับแมงกานีสบนพื้นผิวมากขึ้น ส่วน pH ต่ำ ในสารละลายการจัดเรียงอนุภาค H^+ ทั่วไปจะมีตัวดูดซับที่จำกัด ทำให้เกิดประจุพื้นผิวบวกสุทธิที่ขัดขวางการดูดซับของไอออนบวก ดัง (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว และแมงกานีสของดินในสภาวะค่า pH ต่างกัน

1.2 ความจุการดูดซับตะกั่ว และแมงกานีสของดิน

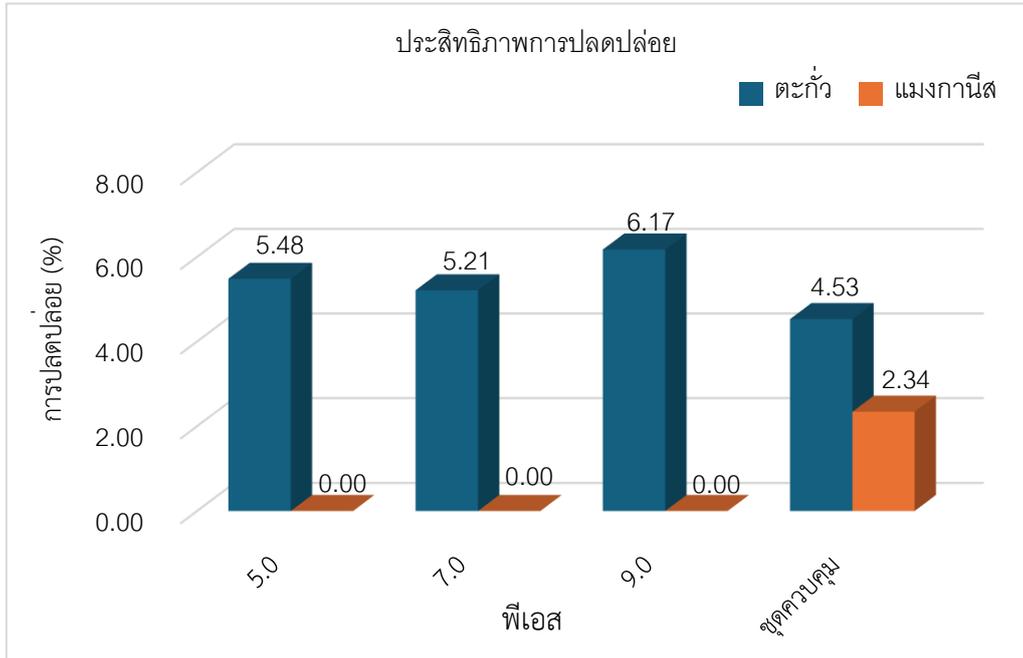
ผลศึกษาอิทธิพล pH ความจุการดูดซับตะกั่วและแมงกานีสในดินที่มีค่า pH เท่ากับ 5.0 9.0 7.0 และชุดควบคุม ความจุการดูดซับตะกั่วไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยค่า pH เท่ากับ 5.0 และ ชุดควบคุม ความจุการดูดซับตะกั่ว 0.198 และ 0.199 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วน pH 7.0 และ 9.0 ความจุการดูดซับ เท่ากับ 0.196 และ 0.192 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับ pH 5.0 และชุดควบคุม ค่า pH ต่ำมีความเป็นกรดสูง ทำให้มีปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างตะกั่วและไอออนที่มีประจุลบในดินซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยเพิ่มความจุการดูดซับตะกั่วในดิน ในขณะที่ดินที่มีค่า pH สูงมีความเป็นด่างสูง ทำให้มีปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างตะกั่วและไอออนที่มีประจุบวกอื่นในดิน (Yang et al., 2006 : 9-15) สำหรับแมงกานีส พบว่า pH เท่ากับ 5.0 7.0 และ 9.0 ความจุการดูดซับแมงกานีสไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยความจุการดูดซับแมงกานีส เท่ากับ 0.200 0.200 0.200 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนชุดควบคุม 0.095 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สรุปได้ว่า ค่า pH ไม่มีผลต่อความจุการดูดซับของแมงกานีสในดิน แต่มีผลต่อความสามารถในการปลดปล่อยแมงกานีสจากดิน ดินที่มีค่า pH ต่ำหรือสูงมากจะมีการปลดปล่อยแมงกานีสมากกว่าดินที่มีค่า pH ปานกลาง ซึ่งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างแมงกานีสและไอออนอื่นๆในดิน ดัง (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ความสามารถในการดูดซับตะกั่วและแมงกานีสของดินที่มีองค์ประกอบเป็นดินเหนียว

1.3 การปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีสที่ปนเปื้อนในดิน

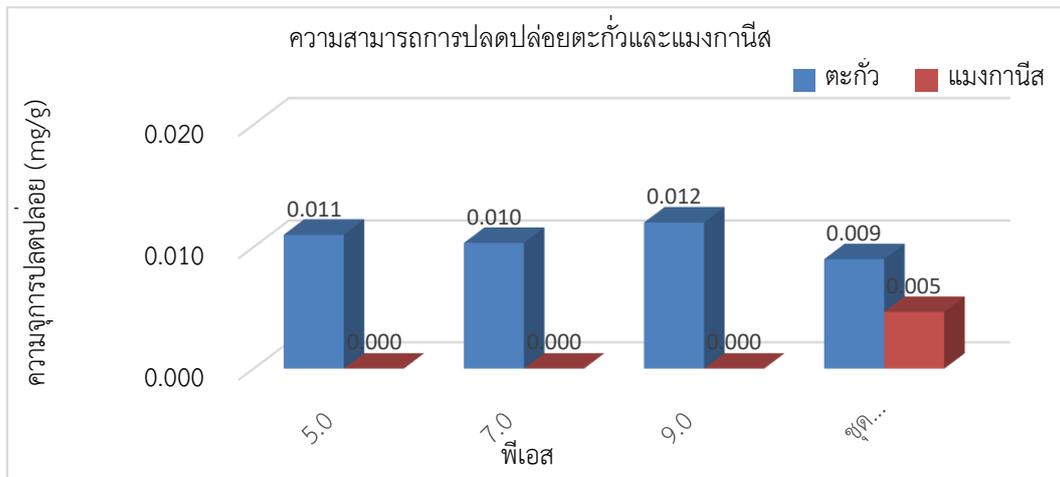
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีส pH 5.0 7.0 9.0 และ ชูดควบคุม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การปลดปล่อยตะกั่ว ค่า pH 9.0 สามารถปลดปล่อยตะกั่ว สูงสุด ร้อยละ 6.17 ในขณะที่ดินที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 5.0 7.0 และชูดควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสามารถปลดปล่อยตะกั่วต่ำกว่า ร้อยละ 5.48 5.21 และ 4.53 ตามลำดับ สรุปได้ว่าดินที่มี pH สูง ทำให้มีการปฏิกริยาการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างตะกั่วและไอออนที่มีประจุบวกเป็นปัจจัยที่ช่วยเพิ่มการปลดปล่อยตะกั่วในขณะที่ดิน pH ต่ำ ทำให้มีการปฏิกริยาการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างตะกั่วและไอออนที่มีประจุลบเป็นปัจจัยที่ช่วยลดการปลดปล่อยตะกั่วในดิน สำหรับ การปลดปล่อยแมงกานีส pH 5.0 7.0 และ 9.0 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยไม่มีการปลดปล่อยแมงกานีส ส่วนชูดควบคุมสามารถปลดปล่อยแมงกานีสได้สูงสุด ร้อยละ 2.34 เห็นได้ชัดว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่า pH ที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการปลดปล่อยแมงกานีส ดัง (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 การปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีสที่ปนเปื้อนในดินเหนียว

1.4 การปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีสที่ปนเปื้อนในดิน

ผลการศึกษาการปลดปล่อยตะกั่ว pH 5.0 7.0 9.0 และชุดควบคุม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.005$) โดยมีการปลดปล่อย เท่ากับ 0.011 0.010 0.012 และ 0.009 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับการปลดปล่อยแมงกานีส pH 5.0 7.0 9.0 และชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.005$) โดยการปลดปล่อยแมงกานีส pH 5.0 7.0 9.0 เท่ากับ 0.00 ส่วนชุดควบคุม เท่ากับ 0.005 มิลลิกรัมต่อกรัม มีการปลดปล่อยแมงกานีสและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.005$) สรุปได้ว่า pH ไม่มีผลต่อการปลดปล่อยแมงกานีสในทางที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดัง (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 การปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีสที่ปนเปื้อนในดิน

อภิปรายผลการวิจัย

การดูดซับและการปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีสของดินที่มีองค์ประกอบเป็นดินเหนียว จากการศึกษาพบว่าอิทธิพลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับตะกั่วและแมงกานีสของดินเหนียว โดยกำหนดค่าพีเอชที่ 5.0, 9.0, 7.0 และชุดควบคุม ประกอบด้วยความเข้มข้นสารละลายตะกั่วและแมงกานีสที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า การดูดซับตะกั่วได้สูงสุดที่พีเอช 5.0 และ 6.4 (ชุดควบคุม) เมื่อ pH เพิ่มขึ้นปริมาณในการดูดซับตะกั่วลดลง สอดคล้องกับรายงานของ (Hatton and Pickering, 1980 : 13-21; Eloussaief and Benzina, 2010 : 753-757) พบว่า อิทธิพลของ pH ต่อการดูดซับของตะกั่วจากผลัฟท์ที่การดูดซับไอออนของตะกั่วเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่า pH ของสารละลายสูงสุดประมาณ pH เป็นกลาง (pH=7) หลังจากนั้นลดลงเมื่อ pH เข้าสู่ระดับที่เป็นเบสมากขึ้น เนื่องจากดินมีค่าประจุพื้นผิวเป็นลบในสารละลาย โดยเมื่อ pH เปลี่ยนแปลง การดึงดูดระหว่างไอออนโลหะที่มีประจุบวกและพื้นผิวดินที่มีประจุลบ การแข่งขันระหว่างไอออนของตะกั่วและ H_3O^+ ที่มีประจุบวกกับพื้นผิวดินเหนียวที่มีประจุลบ ในสารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำ ไอออน H_3O^+ มีมากกว่าตะกั่ว จึงทำให้การดูดซับตะกั่วได้น้อยลง ในสารละลายที่มีค่า pH สูงตะกั่วมีโอกาสตกตะกอนลงในน้ำ สำหรับแมงกานีส (Chouchane et al., 2013 : 313-335) พบว่าดินเหนียวสามารถดูดซับแมงกานีสได้สูงที่พีเอช เท่ากับ 5.0 7.0 และ 9.0 ยกเว้น ชุดควบคุมที่มีการดูดซับแมงกานีสลดลง เนื่องจากแมงกานีสมีอยู่ในรูปของไอออน Mn^{2+} เป็นหลัก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพื้นผิวดินเหนียวต่ำกว่าไอออน Mn^{4+} หรือ Mn^{3+} ซึ่งพบได้ทั่วไปมากกว่าที่ค่า pH สูงหรือต่ำกว่า สอดคล้องกับรายงานที่รายงานว่า pH มีผลต่อการดูดซับได้ เนื่องจากมีผลต่อโลหะที่อยู่ในสารละลายและคุณสมบัติของพื้นผิวของสารดูดซับ

ผลการศึกษาพบว่า การปลดปล่อยตะกั่วในดินมีความสัมพันธ์กับ pH โดยมีการปลดปล่อยตะกั่วสูงสุดเมื่อ pH เท่ากับ 9.0 และต่ำสุดในชุดควบคุม สอดคล้องกับรายงาน (Yang et al., 2006 : 9-15) พบว่าการปลดปล่อยหรือการปลดปล่อยตะกั่วในดินขึ้นอยู่กับธรรมชาติของพื้นผิวดินและค่า pH ของสารละลาย เมื่อ pH เพิ่มขึ้น การดูดซับตะกั่วจะลดลง เนื่องจากตะกั่วจะมีการปลดปล่อยออกจากพื้นผิวดินมากขึ้น การดูดซับและการปลดปล่อยตะกั่วในดินเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนและมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง สำหรับการปลดปล่อยแมงกานีสในดินไม่มีความสัมพันธ์กับค่า pH โดยไม่มีการปลดปล่อยแมงกานีส เมื่อค่า pH เท่ากับ 5.0 7.0 และ 9.0 แต่มีการปลดปล่อยแมงกานีสต่ำสุดเมื่อ pH เป็นชุดควบคุม (pH=6.4) สอดคล้องกับรายงาน Zaman et al. (2009 : 747-755) พบว่าการปล่อยไอออนบวกของโลหะจากแมงกานีสไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับ pH เวลาสัมผัส ประเภทของอิเล็กโทรไลต์ ไอออน และอุณหภูมิ

สรุป

ความสามารถในการดูดซับและการปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีสของดิน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน ได้แก่ pH ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และปริมาณดินเหนียว เมื่อศึกษาอิทธิพล pH ต่อการดูดซับ การปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีส พบว่า การดูดซับตะกั่วมีมากที่สุดเมื่อ pH เท่ากับ 5.0 และ ชุดควบคุม และลดลงเมื่อ pH เป็นด่าง สำหรับการปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีสพบว่า ค่า pH เท่ากับ 6.4 ในชุดควบคุมสามารถปล่อยตะกั่วได้ต่ำกว่าค่า pH 5.0 7.0 และ 9.0 ส่วนแมงกานีสพบว่า ค่า pH เท่ากับชุดควบคุม สามารถปลดปล่อยแมงกานีสมากกว่าที่ pH 5.0 7.0 และ 9.0 ดังนั้น ค่า pH มีผลต่อการปลดปล่อยตะกั่วในดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก แต่ไม่มีผลต่อการปลดปล่อยแมงกานีสในดินเหนียวที่ปนเปื้อนโลหะหนัก ดังนั้นจะข้อมูลการดูดซับของดินนี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับหารูปแบบการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักได้ โดยใช้ดินเป็นตัวกักโลหะแล้วประยุกต์รวมกับการใช้พืชดึงดูดโลหะหนักออกจากดิน เพื่อสามารถใช้ประโยชน์จากดินได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการ

ควรศึกษาผลของปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับและการปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีสในดินเหนียวเพิ่มเติม เช่น สารอินทรีย์ในดิน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับและการปลดปล่อยตะกั่วและแมงกานีสของดินเหนียวกับดินประเภทอื่น ๆ

2. ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

ออกนโยบายควบคุมมลพิษทางดินจากตะกั่วและแมงกานีส ส่งเสริมการเกษตรยั่งยืนที่ลดการใช้ปุ๋ยเคมีและยาฆ่าแมลงซึ่งอาจปนเปื้อนดินด้วยตะกั่วและแมงกานีส และพัฒนาวิธีการบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่วและแมงกานีสอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

3. ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติการ

ปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ปรับสภาพดิน และเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินตรวจสอบดินเป็นประจำเพื่อวัดปริมาณตะกั่วและแมงกานีส

เอกสารอ้างอิง

- Aysen, A., and Behnam, D. (2012). The Effect of Soil Properties on Zn Adsorption. *Environmental Application & Science*, 7 (1), 151-160.
- Bhattacharyya, Krishna G, Gupta, Susmita, and Sen (2008). Kaolinite and montmorillonite as adsorbents for Fe (III), Co (II) and Ni (II) in aqueous medium. *Applied Clay Science*, 41(1-2), 1-9.
- Chouchane, Toufik, Chouchane, Sabiha, Boukari, and Atmane. (2013). Elimination du manganèse en solution par le kaolin Etude cinétique et thermodynamique. *Journal of Renewable Energies*, 16(2), 313-335. doi:10.54966/jreen.v16i2.382
- Eloussaief, M., and Benzina, M. (2010). Efficiency of natural and acid-activated clays in the removal of Pb (II) from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1-3), 753-757.
- Hatton, D., and Pickering, W. f. (1980). The effect of pH on the retention of Cu, Pb, Zn and Cd by clay-humic acid mixtures. *J Water, air, soil pollution*, 14, 13-21.
- Jalali, M., Jalali, M., and Antoniadis, V. (2023). The release of Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn from clay loam and sandy loam soils under the influence of various organic amendments and low-molecular-weight organic acids. *Journal of Hazardous Materials*, 459, 132111. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132111
- Liu, N., Liao, P., Zhang, J., Zhou, Y., Luo, L., Huang, H., et al. (2020). Characteristics of denitrification genes and relevant enzyme activities in heavy-metal polluted soils remediated by biochar and compost. *Science of The Total Environment*, (739), 139987. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139987
- Monika, S., Anurag, S., and Pandey, S. (2020). Suitability of graphene monolayer as sensor for carcinogenic heavy metals in water: a DFT investigation. *Applied Surface Science*, (517), 146021.
- Mosai, A. K., Tokwana, B. C., and Tutu, H. (2022). Computer simulation modelling of the simultaneous adsorption of Cd, Cu and Cr from aqueous solutions by agricultural clay soil: A PHREEQC geochemical modelling code coupled to parameter estimation (PEST) study. *Ecological Modelling*, 465, 109872.
- OECD (Ed.) (2000). *Adsorption-desorption using a batch equilibrium method*.
- Serrano, S., Garrido, F., Campbell, C., and Garcia-González, M. (2005). Competitive sorption of cadmium and lead in acid soils of Central Spain. *Geoderma*, 124(1-2), 91-104.
- Ugwu, Ifeoma, Igbokwe, and Onyedikachi. (2019). Sorption of heavy metals on clay minerals and oxides: a review. *Advanced sorption process applications*, 1-23.
- Vidal, M., Santos, M. J., Abrão, T., Rodríguez, J., and Rigol, A. (2009). Modeling competitive metal sorption in a mineral soil. *Geoderma*, 149(3-4), 189-198.
- Wang, S., Nan, Z., Zeng, J., and Hu, T. (2007). Desorption of zinc by the kaolin from Suzhou, China. *J Applied clay science*, 37(3-4), 221-225.
- Wang, S., Nan, Z., Zeng, J., and Hu, T. (2007). Desorption of zinc by the kaolin from Suzhou, China. *Applied Clay Science*, 37(3-4), 221-225.
- Yang, J. Y., Yang, X. E., He, Z. L., Li, T. Q., Shentu, J. L., and Stoffella, P. J. (2006). Effects of pH, organic acids, and inorganic ions on lead desorption from soils. *Environ Pollut*, 143(1), 9-15. doi:10.1016/j.envpol.2005.11.010

- Zaman, Muhammad Iqbal, Mustafa, Syed, Khan, Sadullah, et al. (2009). Heavy metal desorption kinetic as affected by of anions complexation onto manganese dioxide surfaces. *Chemosphere*, 77(6), 747-755.
- Zhang, and Zheng. (2007). Competitive adsorption of Cd, Cu, Hg and Pb by agricultural soils of the Changjiang and Zhujiang deltas in China. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 8(11), 1808-1815. doi:10.1631/jzus.2007.A1808