วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 33 : 1 (42 - 51)

ศักยภาพในการดูดซับตะกั่วของดินบริเวณอ่างเก็บน้ำสาธารณะ จังหวัดมหาสารคาม

Lead Adsorption Potential of Soils Collecting from Public Reservoirs, Maha Sarakham Province

เพชรดา สุพล[1*] ภูวดล โกมณเฑียร[2] และปิยนุช คะเณมา [2]

บทคัดย่อ

การตรวจสอบศักยภาพของดินในการดูดซับตะกั่วของดินบริเวณอ่างเก็บน้ำสาธารณะ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของดินจากอ่างเก็บน้ำในการดูดซับตะกั่วโดยการสุ่มตัวอย่างดินจากสี่อ่างเก็บน้ำในจังหวัดมหาสารคาม ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก อ่างเก็บน้ำบึงกุย อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง ใช้การทดสอบแบบกะ (batch experiment) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของน้ำหนักดิน เวลาสัมผัส และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว และคำนวณหาไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงค์เมียร์ และฟรุนด์ลิช เพื่อทดสอบหาพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว ผลการทดลอง พบว่า ความสามารถของดินในการดูดซับตะกั่วแปรผันตามน้ำหนักดิน (5 กรัม) โดยเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับคือ 30 นาที และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเริ่มต้นที่เหมาะสมคือ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ไอโซเทอร์มของแลงค์เมียร์สามารถอธิบายการดูดซับได้ดีกว่าไอโซเทอร์มของฟรุนด์ลิช ซึ่งดินมีการดูดซับตะกั่วแบบชั้นเดียว การดูดซับตะกั่ว พบว่า ดินจากอ่างเก็บน้ำสาธารณะมีศักยภาพในการดูดซับตะกั่ว โดยดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่งมีค่าการดูดซับตะกั่วสูงสุด (4.20 มิลลิกรัมต่อกรัม) รองลงมาคือ อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก (4.12 มิลลิกรัมต่อกรัม) อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (4.05 มิลลิกรัมต่อกรัม) และอ่างเก็บน้ำบึงกุย (4.04 มิลลิกรัมต่อกรัม)

คำสำคัญ : อ่างเก็บน้ำ ตะกั่ว การทดลองแบบกะแลงค์เมียร์ไอโซเทอร์ม ฟรุนด์ลิชไอโซเทอร์ม

Abstract

This research aimed to investigate a potential of reservoir soil on lead adsorption by sampling soils from four reservoirs in Maha Sarakham province: (i) Huai Khonsak Reservoir (KS); (ii) Bung Khui Reservoir (BK); (iii) Kaeng Loeng Chan Reservoir (LC); and (iv) Huai Ang Reservoir (HA). Batch experiment was conducted to investigate the optimal adsorbent dose, retention time, and adsorbant lead concentration, and Langmuir and Freundlich isotherm were used to find the lead adsorption behavior. The results showed that the efficient of lead adsorption increased followed to the adsorbent dose with the equilibrium time at 30 minute and the maximum lead concentration at 2 mg/L. Langmuir model could be explained data better than Freundlich model that referred to monolayer lead adsorption. The maximum capacity of lead adsorption showed the highest value at Huai Ang Reservoir (4.20 mg/g), while the lowers were Huai Khonsak Reservoir > Kaeng Loeng Chan Reservoir > Bung Khui Reservoir (4.12, 4.05 and 4.04 mg/g, respectively).

Keywords : Reservoir; Lead; Batch experiment; Langmuir isotherm; Freundlich isotherm

[1]นิสิตปริญญาโท [2]อาจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

มหาสารคามเป็นจังหวัดเกษตรกรรม มีพื้นที่ทำการเกษตรสูงถึง 2,714,271 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 83 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยอำเภอที่มีครัวเรือนเกษตรกรมากที่สุด คือ อำเภอเมือง (40,325 ครัวเรือน) รองลงมาคือ อำเภอโกสุมพิสัย (21,569 ครัวเรือน) (สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม, 2554) ตะกั่วจัดเป็นโลหะหนักอันตรายอันดับที่ 2 จากการจัดอันดับสารเคมีอันตราย (ATSDR, 2005) โดยมาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทย กำหนดให้โลหะหนักตะกั่วต้องไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ตะกั่วถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของสารฆ่าแมลงชนิดอนินทรียสาร ในรูปของตะกั่วอาร์เซเนต ($PbHAsO_4$) ซึ่งหากมีการสะสมในแหล่งน้ำ และถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหารจะทำลายเซลล์ตับ หัวใจ ไต และสมองของสิ่งมีชีวิต

อ่างเก็บน้ำสาธารณะมักจะมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแหล่งน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา การเกษตร และนันทนาการ ซึ่งในทางกลับกันยังเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียที่เกิดจากทั้งชุมชนและสารเคมีตกค้างจากพื้นที่ทำการเกษตร โดยของที่ชะล้างหรือถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำทั้งที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจ การเฝ้าระวัง ติดตามและตรวจสอบการปนเปื้อนในแหล่งน้ำจึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญ เพราะจะส่งผลต่อระบบนิเวศและชุมชนในระยะยาว

ดินมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันตามลักษณะของสภาวะแวดล้อม และส่วนประกอบของดินจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการกระทำของมนุษย์ ดินมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของสารต่างๆ ในดิน ทำให้เกิดสารประกอบที่ความเป็นพิษลดลง หรือเกิดสภาวะ หรือเกิดสารใหม่ ที่มีสภาพไม่ก่อให้เกิดพิษ เช่น ดินที่มีแคลเซียมในรูปแคลเซียมออกไซด์ (CaO) หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และคาร์บอเนตตัวอื่นสามารถดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียได้ดี (Alloway, 1995) มีการศึกษาการใช้ดินในพื้นที่ที่มีแคลเซียมและคาร์บอเนตในเมืองอะบูดาบี ประเทศสาธารณรัฐอิมิเรต เพื่อดูดซับโลหะหนักตะกั่ว สังกะสี เหล็ก ทองแดง และแมงกานีสออกจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมโดยการกรองผ่านดิน ดินที่มีคาร์บอเนตสูงสามารถกำจัดโลหะหนักบางตัวออกจากน้ำเสีย (Tayim and Al-Yazouri, 2005) ซึ่งในสภาวะดังกล่าวโลหะหนักจะตกตะกอนเป็นเกลือคาร์บอเนต นอกจากนี้ ค่าปฏิกิริยาของดินมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายของธาตุต่างๆ ในดิน รวมถึงตะกั่วด้วยเช่นกัน ซึ่งในดินที่มีค่าปฏิกิริยาของดินต่ำ จะทำให้ความสามารถในการแตกตัวของตะกั่วสูงกว่าในดินที่มีค่าปฏิกิริยาของดินสูง (Julita and Andrew, 2005)

จากงานวิจัยของจุไรรัตน์ และกาญจนารัตน์ (2549) ได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วโดยใช้ดินเหนียว ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว ระยะเวลาในการดูดซับ ค่าปฏิกิริยาของดิน และปริมาณอินทรียวัตถุ ผลจากการศึกษาพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วสูงสุดคือ ร้อยละ 84.15 ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วสูงสุดคือ ร้อยละ 92.28 ที่ pH 6 มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วสูงสุดคือ ร้อยละ 86.36 ปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วสูงสุดคือ ร้อยละ 93.68 สรุปได้ว่าทุกปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อความสามารถในการดูดซับตะกั่วของดินเหนียว และมีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วได้สูงสุดถึงร้อยละ 93.94 เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของนพปฏล และพงศกร (2555) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแป้ง พบว่าปริมาณการดูดซับนิกเกิลสูงสุดของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแป้งเท่ากับ 6.57 และ 5.23 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ

ดังนั้นทรัพยากรดินและน้ำอันเป็นรากฐานของแหล่งปัจจัยสี่ ซึ่งต้องให้ความสำคัญ จึงทำการศึกษาศักยภาพในการดูดซับตะกั่วของดินบริเวณอ่างเก็บน้ำสาธารณะ จังหวัดมหาสารคาม ในระบบการดูดซับแบบกะ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับที่สำคัญ ได้แก่ น้ำหนักดิน เวลาสัมผัส และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว รวมถึงศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่ว เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการประเมินศักยภาพของดินและการแพร่กระจายของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม และประเมินความเสี่ยงของอ่างเก็บน้ำสาธารณะจากการปนเปื้อนโลหะหนักที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พื้นที่ศึกษา

ทำการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาจากพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับท้องถิ่นที่อยู่ในบัญชีรายชื่อของสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติของจังหวัดมหาสารคาม แผนพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2554 – 2556 และการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่เป็นแหล่งน้ำสาธารณะ โดยมุ่งศึกษาสำรวจดินบริเวณอ่างเก็บน้ำสาธารณะในจังหวัดมหาสารคาม ซึ่งทำการสำรวจทั้งหมด 4 พื้นที่ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก (KS) ตั้งอยู่ในตำบลวังยาว อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม มีพื้นที่อ่างเก็บน้ำ 1,976 ไร่ ความจุ 8.659 ล้านลูกบาศก์เมตร มีการใช้ประโยชน์โดยการส่งน้ำให้กับพื้นที่การเกษตรในเขตชลประทาน 7,366 ไร่ และเป็นแหล่งน้ำสำหรับผลิตประปาของตำบลดอนกลาง และตำบลวังยาว อ่างเก็บน้ำบึงกุย (BK) ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ของ ตำบลหัวขวาง ตำบลแก้งแก และตำบลเหล่า อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม มีพื้นที่ 2,750 ไร่ ความจุ 4.3 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีพื้นที่ชลประทาน 8,089 ไร่ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (LC) ตั้งอยู่ในตำบลแก่งเลิงจาน อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม มีพื้นที่ 1,900 ไร่ ความจุ 8.024 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีพื้นที่ชลประทาน 4,500 ไร่ และอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง (HA) ตั้งอยู่ในช่วงรอยต่อระหว่าง จังหวัดร้อยเอ็ด และจังหวัดมหาสารคาม มีพื้นที่เขตจังหวัดร้อยเอ็ด 2,800 ไร่ ในพื้นที่เขตจังหวัดมหาสารคาม 4,000 ไร่ ความจุ 22.290 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีพื้นที่ชลประทาน 5,200 ไร่ (แผนพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2554 – 2556)

2. วิธีการเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างดินในช่วงเดือนสิงหาคม – กันยายน พ.ศ. 2555 ทำการเก็บดินในแต่ละพื้นที่มี 8 จุด ห่างกันประมาณ 50 เมตร ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างดิน 5 หลุม ที่ระดับความลึก 0 - 5 เซนติเมตร ด้วยพลั่วตักดิน แล้วทำเป็นตัวอย่างผสม (Composite sample) 1 ตัวอย่าง ถือเป็นตัวแทนของจุดนั้นๆ ผึ่งตัวอย่างดินในที่ร่ม ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และเก็บในภาชนะปิดเพื่อรอวิเคราะห์ต่อไป

3. วิธีการวิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ

วิเคราะห์เนื้อดินโดยวิธี Hydrometer (National Soil Survey Center, 1996) วิเคราะห์ค่าปฏิกิริยาของดินโดยใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำเป็น 1: 5 (National Soil Survey Center, 1996) วิเคราะห์ค่าอินทรียวัตถุในดินโดยวิธีของ Walkley – Black (Walkley-Black, 1947) วิเคราะห์ค่าปริมาณไนโตรเจนของดินโดยวิธี Kjeldahl (Bremner and Mulvaney, 1982) วิเคราะห์ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน โดยใช้วิธี NH_4OAc Exchange site (Chapman, 1965) วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียม โดยวิธี NH_4OAc Extraction & Atomic absorption spectroscopy

4. ทดสอบความสามารถในการดูดซับ

การทดลองแบบกะ โดยใช้น้ำหนักตัวอย่างดิน เท่ากับ 0.1, 0.5, 1 และ 5 กรัม ให้เวลาสัมผัสเท่ากับ 30 และ 60 นาที เตรียมตัวอย่างน้ำเสียตะกั่วสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า pH ของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 4 (เพื่อลดการตกตะกอนโลหะหนัก) และคำนวณค่าร้อยละการกำจัดตะกั่วและไอโซเทอร์ม ดังสมการ

4.1 ร้อยละการกำจัดตะกั่ว

$$\text{ร้อยละการกำจัด} = \left[\frac{(\text{ปริมาณตะกั่วก่อนดูดซับ-ปริมาณตะกั่วหลังดูดซับ})}{\text{ปริมาณตะกั่วก่อนดูดซับ}} \right] x\ 100$$

4.2 การคำนวณไอโซเทอร์มการดูดซับ

ไอโซเทอร์มการดูดซับอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลกับปริมาณของตัวถูกดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอร์มการดูดซับ เป็นสมการที่มีประโยชน์สำหรับวิเคราะห์การดูดซับ ไอโซเทอร์มที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ สมการการดูดซับแบบแลงค์เมียร์ (Langmuir) และสมการการดูดซับแบบฟรุนด์ดิช (Freundlich) (นิพนธ์ และคณิตา, 2550)

1) ค่าไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงค์เมียร์ สามารถคำนวณได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$q_e = \frac{q_m + bC_e}{(1+bC_e)}$$

เมื่อ q_m = ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
b = ค่าคงที่
C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

2) ค่าไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนล์ดิช สามารถคำนวณได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}}$$

เมื่อ q_e = ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)
K_f, n = ค่าคงที่

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ

จากตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ คือ เนื้อดิน ค่าปฏิกิริยาดิน ค่าการนำไฟฟ้า ค่าอินทรียวัตถุในดิน ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณตะกั่วในดิน ผลการวิเคราะห์สมบัติดินในอ่างเก็บน้ำสาธารณะในจังหวัดมหาสารคาม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก เนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน (loamy sand) ปฏิกิริยาดินเป็นด่างเล็กน้อย ถึงด่างปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.53-8.13 ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนในดินร้อยละ 0.09 และปริมาณตะกั่วในดินพบว่าไม่มีการปนเปื้อน

1. 2 อ่างเก็บน้ำบึงกุย เนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน (loamy sand) ปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงด่างจัด มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.22-8.50 ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนในดินร้อยละ 0.07 และปริมาณตะกั่วในดินพบว่าไม่มีการปนเปื้อน

1.3 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงด่างปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.01-8.20 ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนในดินร้อยละ 0.09 และปริมาณตะกั่วในดินพบว่าไม่มีการปนเปื้อน

1. 4 อ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงด่างปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.33-8.09 ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนในดินร้อยละ 0.13 และปริมาณตะกั่วในดินพบว่าไม่มีการปนเปื้อน

Table 1 Physical and chemical properties of the soil.

Soil properties	Area			
KS	BK	LC	HA	
%Sand	77.70±7.07^{A}	80.90±6.62^{A}	74.35±5.18^{A}	69.82±13.09^{B}
%Silt	17.70±4.63^{B}	18.75±6.54^{B}	22.70±4.63^{A}	24.02±7.40^{A}
%Clay	4.60±5.35^{A}	0.35±0.14^{C}	2.95±5.18^{B}	6.15±7.54^{A}
Textural class	Loamy sand	Loamy sand	Sandy loam	Sandy loam
Soil reaction (pH)	7.53-8.13	7.22-8.50	7.33-8.09	7.01-8.20
Electrical Conductivity (µs/cm)	553.88±37.97^{B}	555.54±40.46^{B}	591.38±34.25^{B}	733.21±145.36^{A}
Organic Matter (%)	2.14±0.15^{B}	2.29±0.14^{A}	2.16±0.09^{B}	2.30±0.08^{A}
Cation Exchange Capacity (cmol/kg)	13.25±4.73^{B}	8.50±5.95^{B}	12.75±9.21^{B}	23.17±16.80^{A}
Available Calcium (mg/kg)	0.18±0.07^{A}	0.13±0.01^{B}	0.19±0.03^{A}	0.18±0.02^{A}
Available Magnesium (mg/kg)	1.03±0.11^{A}	0.58±0.16^{B}	0.97±0.15^{A}	0.71±0.18^{B}
Nitrogen (%)	0.09^{A}	0.07^{A}	0.09^{A}	0.13^{A}
Total Pb (mg/kg)	ND	ND	ND	ND

ND= Not detect

The different superscript letters in each row are significantly different (±S.D.,n=3, $p<0.05$).

2. ผลการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับ

การทดลองนี้ได้ศึกษาการดูดซับตะกั่วด้วยดิน โดยใช้การทดลองความสามารถในการดูดซับแบบกะ (Batch experiment) (Njoku *et al*., 2011) ซึ่งเป็นการทดลองโดยหาสภาวะที่เหมาะสมทีละสภาวะ คือ น้ำหนักดินที่เหมาะสม ได้แก่ 0.1, 0.5, 1 และ 5 กรัม เวลาสัมผัสที่เหมาะสม ได้แก่ 30 และ 60 นาที และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเริ่มต้นที่เหมาะสม ได้แก่ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทุกการทดลองกำหนดค่า pH ของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ เท่ากับ 4 โดยมีผลการศึกษาดังนี้

2.1 ผลการศึกษาน้ำหนักดินที่เหมาะสม

การศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักดินต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว โดยใช้น้ำหนักดินทั้งหมด 4 น้ำหนักดิน ได้แก่ 0.1, 0.5, 1 และ 5 กรัม โดยทดลองเวลาสัมผัสที่ 30 และ 60 นาที ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์เริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า pH ของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ เท่ากับ 4

พบว่า ในทุกพื้นที่ ร้อยละการกำจัดตะกั่วแปรผันตามน้ำหนักดิน โดยปริมาณดินที่สามารถดูดซับตะกั่วได้สูงที่สุด คือ 5 กรัม ที่ระยะสัมผัสทั้ง 30 และ 60 นาที ซึ่งที่เวลาสัมผัส 30 นาที ดินจากอ่างเก็บน้ำบึงกุยมีร้อยละการกำจัดตะกั่วมากที่สุด (ร้อยละ 0.2044) รองลงมาคือ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ร้อยละ 0.1997) อ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง (ร้อยละ 0.1991) และอ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก (ร้อยละ 0.1974) (ภาพที่ 1) โดยที่เวลาสัมผัส 60 นาที ดินจากอ่างเก็บน้ำบึงกุยมีร้อยละการกำจัดตะกั่วมากที่สุด (ร้อยละ 0.1629) รองลงมาคือ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ร้อยละ 0.1602) อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก (ร้อยละ 0.16) และอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง (ร้อยละ 0.1483)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ปริมาณดินเพิ่มขึ้นทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเท่าเดิมแต่มีพื้นที่ผิวของดินในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีปริมาณของไอออนตะกั่วถูกดูดซับได้มากขึ้น (Beck, 1999) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค พบว่าร้อยละการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโคที่เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 72.86 ที่ปริมาณ 0.1 กรัม เป็นร้อยละ 98.44 ที่ปริมาณ 0.5 กรัม (เทียมชัย, 2552) และการศึกษาการใช้หญ้า *Parthenium hysterophorous* เป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย พบว่า ใช้ตัวดูดซับปริมาณจาก 0.1 ถึง 1 กรัม ทำให้ร้อยละการดูดซับเพิ่มจากร้อยละ 92.2 ถึงร้อยละ 99.0 (Ajmal *et al.*, 2006) ทั้งนี้เพราะบริเวณที่เป็นประโยชน์สำหรับการดูดซับโลหะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ เป็นผลให้ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับรวมมีมากขึ้น

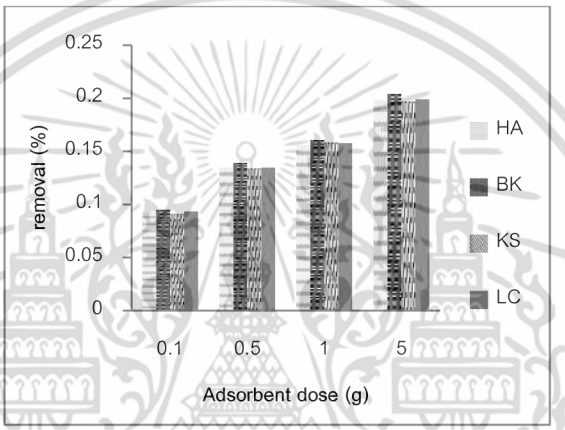

Figure 1 Percentage removal of lead at adsorbent doses (0.1, 0.5, 1, and 5 g)

2.2 ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม

การศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว กำหนดเวลาสัมผัส 2 ช่วงเวลาคือ 30 และ 60 นาที ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้น้ำหนักดินที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้างต้นคือ 5 กรัม

พบว่า ในทุกพื้นที่ ร้อยละการกำจัดตะกั่วแปรผกผันกับเวลาสัมผัส และเมื่อให้เวลาสัมผัส 30 นาที จะมีร้อยละการกำจัดตะกั่วสูงกว่าเวลาสัมผัส 60 นาที โดยดินจากอ่างเก็บน้ำบึงกุยมีร้อยละการกำจัดตะกั่วมากที่สุด (ร้อยละ 0.2044) รองลงมาคือ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ร้อยละ 0.1997) อ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง (ร้อยละ 0.1991) และอ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก (ร้อยละ 0.1974) (ภาพที่ 2)

การที่ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะสัมผัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะเวลาสัมผัสที่เพิ่มขึ้น ไอออนตะกั่วจะสามารถเข้าไปเกาะที่ผิวตัวดูดซับได้น้อยลง (Beck, 1999) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก โดยใช้ถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุด ในการศึกษาใช้วัสดุในการดูดซับ 3 ชนิดคือ ถ่านจากเปลือกมังคุด ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด และถ่านกัมมันต์ทางการค้า พบว่า วัสดุดูดซับทั้งสามชนิดเข้าสู่สมดุลในการดูดซับไอออนตะกั่วที่เวลา 30 นาที (รอฮานา, 2553) การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีสด้วยเปลือกกล้วย พบว่า เปลือกกล้วยที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที เป็นเวลาสัมผัสที่ดูดซับแมงกานีสในสารละลายมาตรฐานแมงกานีสได้สูงสุด (ภัทรกฤตย์ และคณะ, 2555) และการศึกษาการกำจัดไอออนแคดเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียด้วยมะขามและเปลือกทับทิม พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมและตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น เมื่อเวลาของการดูดซับเพิ่มขึ้นในช่วง 5-30 นาที (ยุพดี, 2557)

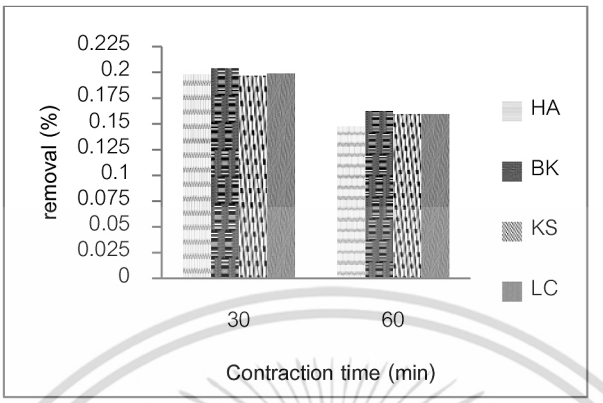

Figure 2 Percentage removal of lead at contact times 30 and 60 minute.

2.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นสารละลายตะกั่วเริ่มต้นที่เหมาะสม

การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายตะกั่วเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับ โดยกำหนดความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว ได้แก่ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้น้ำหนักดิน และให้เวลาสัมผัสที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดลองข้างต้นคือ 5 กรัม และ 30 นาที

พบว่า ในทุกพื้นที่ ร้อยละการกำจัดตะกั่วแปรผกผันกับความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเริ่มต้น และ ณ ความเข้มข้นสารละลายตะกั่วเริ่มต้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นความเข้มข้นสารละลายตะกั่วเริ่มต้นที่มีร้อยละการกำจัดตะกั่วสูงที่สุด โดยดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่งมีร้อยละการกำจัดตะกั่วมากที่สุด (ร้อยละ 1.1389) รองลงมาคือ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ร้อยละ 1.1022) อ่างเก็บน้ำบึงกุย (ร้อยละ 1.1017) และอ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก (ร้อยละ 1.0992) (ภาพที่ 3) เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาการดูดซับสีย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นในขณะที่ปริมาณตัวดูดซับคงที่นั้น ทำให้ร้อยละของการกำจัดสีย้อมมีค่าลดลง (พรสวรรค์ และ วีระวัฒน์, 2553)

3. ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับตะกั่วด้วยดิน

การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแลงค์เมียร์และฟรุนด์ลิชเพื่ออธิบายพฤติกรรมการดูดซับตะกั่วด้วยดินจากอ่างเก็บน้ำสาธารณะทั้ง 4 พื้นที่ โดยใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับจากการทดลองข้างต้น คือ น้ำหนักดิน 5 กรัม เวลาสัมผัส 30 นาที และระดับความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ที่ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากตารางที่ 2 แสดงผลการพิจารณาค่าสัมประสิทธ์ของการตัดสินใจ (R^2) ที่เข้าใกล้ 1 มากที่สุด และค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีค่ามากกว่าระหว่างค่า K_L กับมีค่า K_f ของดินทั้ง 4 พื้นที่ ซึ่งการเปรียบเทียบค่าดังกล่าวข้างต้นนำมาสู่การเลือกใช้ไอโซเทอร์มในการนำมาอธิบายการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยดิน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

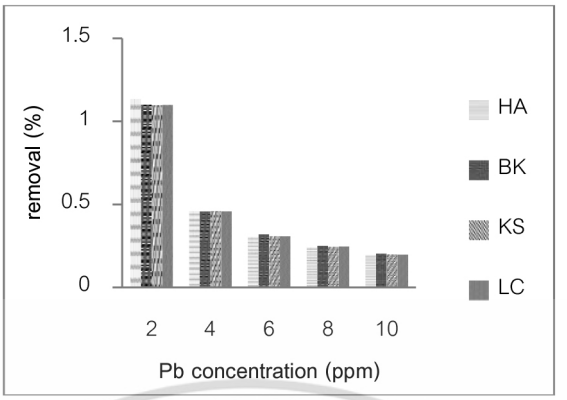

Figure 3 Percentage removal of lead at adsorbant concentrations 2, 4, 6, 8, and 10 ppm.

ผลจากศึกษาไอโซเทอร์มของแลงค์เมียร์และฟรุนล์ดิช พบว่า ไอโซเทอร์มของแลงค์เมียร์ของดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก มีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 และมีค่า K_L เท่ากับ -21.46 อ่างเก็บน้ำบึงกุย มีค่า R^2 เท่ากับ 0.99 และมีค่า K_L เท่ากับ -18.82 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน มีค่า R^2 เท่ากับ 0.99 และมีค่า K_L เท่ากับ -18.39 และอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 กับมีค่า K_L เท่ากับ -19.47 ซึ่งมากกว่าค่า R^2 และ K_f ของไอโซเทอร์มฟรุนด์ลิช จึงสรุปได้ว่า ดินทั้ง 4 พื้นที่มีการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) จากผลการทดลองดังกล่าวเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Shu and Wan (2008) ที่ได้ทำการศึกษาการดูดซับและการปลดปล่อยตะกั่วของมอนต์มอริลโลไนต์ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวในกลุ่มของ 2: 1 โดยการดูดซับที่เกิดขึ้นพบว่าไอโซเทอร์มที่มีความเหมาะสม คือ ไอโซเทอร์มของแลงค์เมียร์ ซึ่งลักษณะการดูดซับบนผิวหน้าของวัสดุที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่เป็นประจุลบดูดยึดไอออนของตะกั่วที่แตกตัวเป็นแคตไอออนไว้

ผลการศึกษาการดูดซับตะกั่วด้วยดิน จากไอโซเทอร์มของแลงค์เมียร์ พบว่า ดินมีศักยภาพในการดูดซับตะกั่ว โดยดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยขอนสักสามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 4.12 มิลลิกรัมต่อกรัม ดินจากอ่างเก็บน้ำบึงกุยสามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 4.04 มิลลิกรัมต่อกรัม ดินจากอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานสามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 4.05 มิลลิกรัมต่อกรัม และดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่งสามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 4.20 มิลลิกรัมต่อกรัม

Table 2 Parameters of Langmuir and Freundlich models.

Area	Langmuir models			Freundlich models		
	R^2	K_L	b (mg/g)	R^2	K_f	n (mg/g)
KS	0.98	-21.46	4.12	0.81	10.10	-2.53
BK	0.99	-18.82	4.04	0.84	10.22	-2.48
LC	0.99	-18.39	4.05	0.85	10.44	-2.44
HA	0.99	-19.47	4.20	0.86	10.15	-2.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

ดินจากอ่างเก็บน้ำสาธารณะ ในจังหวัดมหาสารคามมีศักยภาพในการดูดซับตะกั่ว โดยความสามารถของดินในการดูดซับตะกั่วแปรผันตามน้ำหนักดิน แต่แปรผกผันกับเวลาสัมผัสและความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเริ่มต้น โดยน้ำหนักดินที่เหมาะสม คือ 5 กรัม เวลาสัมผัสที่เหมาะสมคือ 30 นาที และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเริ่มต้นที่เหมาะสม คือ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ไอโซเทอร์มของแลงค์เมียร์สามารถอธิบายการดูดซับได้ดีกว่าไอโซเทอร์มของฟรุนด์ลิช โดยดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่งมีศักยภาพในการดูดซับตะกั่วได้สูงสุดเท่ากับ 4.20 มิลลิกรัมต่อกรัม รองลงมาคือ อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก (4.12 มิลลิกรัมต่อกรัม) อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (4.05 มิลลิกรัมต่อกรัม) และอ่างเก็บน้ำบึงกุย (4.04 มิลลิกรัมต่อกรัม) ดังนั้น อ่างเก็บน้ำบึงกุย มีศักยภาพในการดูดซับตะกั่วได้น้อยที่สุด ควรเป็นพื้นที่ที่ควรเฝ้าระวังและติดตามการปนเปื้อนสารละลายตะกั่วรวมถึงสารมลพิษชนิดอื่นๆ เนื่องจากเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียที่เกิดจากทั้งชุมชนและพื้นที่ทำการเกษตรโดยรอบ ทั้งยังใช้เป็นแหล่งน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา นันทนาการ และถูกนำไปใช้ในพื้นที่การเกษตรในเขตชลประทานพื้นที่ตำบลหัวขวาง ตำบลแก้งแก และตำบลเหล่า อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม โดยมีพื้นที่ชลประทาน 8,089 ไร่ ซึ่งมีความเสี่ยงหากเกิดการปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำ พื้นที่การเกษตร และถ่ายทอดสู่ห่วงโซ่อาหาร และไปยังมนุษย์

อนาคตหากมีการติดตามและตรวจสอบการสะสมของโลหะหนักในดินของอ่างเก็บน้ำสาธารณะอย่างต่อเนื่อง รวมถึงมีการเพิ่มเติมการทดสอบพฤติกรรมการดูดซับโลหะหนักชนิดอื่นๆในดิน น่าจะทำให้เห็นภาพรวมที่กว้างขึ้นรวมถึงมองเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในอนาคตของอ่างเก็บน้ำสาธารณะในจังหวัดมหาสารคาม เนื่องจากแนวโน้มการทำเกษตรมากขึ้น อัตราการใช้สารเคมีทางการเกษตรจึงสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อการปนเปื้อนมลพิษในแหล่งน้ำและแหล่งน้ำถูกนำไปใช้ในการอุปโภคและบริโภคโดยตรง รวมทั้งถูกนำไปใช้ในการผลิตน้ำประปาชุมชน และใช้ในภาคการเกษตร ข้อมูลต่างๆ เหล่านี้น่าจะเพียงพอที่จะสนับสนุนการเฝ้าระวังติดตามคุณภาพน้ำและดินได้เป็นอย่างดีในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษา และพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (ปี 2555) และทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนิสิตบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (ปีงบประมาณ 2556) ขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.พรชัย อุทรักษ์ ที่ให้ความกรุณาตรวจทานในส่วนของสถิติ

เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ.2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ

จุไรรัตน์ คุรุโคตร และกาญจนารัตน์ ช่อรักษ์. 2549. ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วโดยใช้ดินเหนียว. งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2549. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

เทียมชัย บัวลอย วิภาดา สนองราษฎร์ และ สมภพ สนองราษฎร์. 2552. การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค วารสารวิชาการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย. 23(3): 53-61.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์ และพงศกร พรรณรัตนศิลป์. 2555. ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแป้ง. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 23(3): 46-53.

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. 2550. หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์ และวีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์. 2553. การดูดซับสีย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ. วิศวสารลาดกระบัง. 27(4): 61-66.

ภัทรกฤตย์ จันสุนา อรอุมา วรญาณ และสุนิดา เถาว์โท. 2555. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีสด้วยเปลือกกล้วย. หน้า130-136. ในเอกสาร การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ,อุบลราชธานี.

ยุพดี เส้นขาว. 2557. การกำจัดไอออนแคดเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียด้วยมะขามและเปลือกทับทิม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22(20): 184-201.

รอฮานา อาดาม. 2553. ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก โดยใช้ถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุด. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 13(3): 94-103.

สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม. 2553. แผนพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2553-2556. กลุ่มงานยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม.

สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม. 2554. แผนพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2554-2556. กลุ่มงานยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม.

Ajmal M., Khanrao A. R., Ahmad R. and Khan A. M. 2006. Adsorption study on *Parthenium hysterophorous* weed: Removal and recovery of Cd (II) from wastewater. Journal of Hazardous Materials B135: 242 – 248. Alloway, B. J. 1995. Heavy Metals in Soils. Chapman and Hall, Great Britain.

ATSDR. 2005. Toxicological Profile for Lead, Agency for Toxic Substance and Disease Registry, ATSDR, U.S. Department of Health and Humans Services, Public Health Service, Center for Diseases Control, Atlanta, GA.

Beck, R. 1999. Soil Analysis Handbook of Reference Methods. Soil and Plant Analysis Council. 247 p. Inc. CRC Press, USA.

Bremner, J.M., and C.S.Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. A.S.A and SSSA, Madison, WI: 595-624.

Chapman, H.D. 1965. Cation exchang capacity. In: C.A. Black (ed.), Method of soil Analysis. Party II. Monograph No. 9. American Society of Agronomy Inc., Madison Wisconsin: 891-901.

Julita Markiewicz-Patkowska. and Andrew Hursthouse. 2005. The interaction of heavy metals with urban soils: sorption behaviour of Cd, Cu, Cr, Pb and Zn with a typical mixed brownfield deposit. Environment International. 31(4): 513–521.

National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Method Manual. United state Department of Agriculture, National Soil Survey Center; Soil Survey laboratory, Soil Survey Investigation NO. 42, Version 3.

Njoko, V.O., E. Oquzie, C. Obi, O.S. Bello and A.A. Bello. 2011. Adsorption of copper (II) and lead (II) from aqueous solutions onto a Nigerien natural clay. Australian journal of Basic applied science 5(5): 346-353 Shu, Q.Z. and G.H. Wan. 2008. Adsorption behavior of Pb(II) on montmorillonite. Colloid Surf., A 320: 92-97.

Tayim HA, AL-Yazouri AH, 2005. Industrial water treament using local natural soil in Abu Dhabi, U.A.E. American Journal of Environmental Sciences 3: 190-193.

Walkley, A. and I.A. Black, 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. Soil. Sci. Amer. Proc. 63:257.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้