



การเพิ่มศักยภาพในการดูดซับโลหะหนักของดินลมหอบขอนแก่นด้วยการผสมเบนโทไนท์

INCREASING POTENTIAL TO ADSORB HEAVY METALS IN THE KHON KAEN LOESS BY ADDING BENTONITE

ยุทธพงษ์ ไชยปัญญา^{1*}, พงศกร พรณรัตน์ศิลป์², ศิริรัตน์ พัฒนไพโรจน์³

¹นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²นักวิจัย, ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*Corresponding author: yuttapong_chai@kkumail.com

บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษต่างๆ ซึ่งโลหะหนักเป็นหนึ่งในสารพิษที่เป็นอันตราย วิธีที่จะช่วยป้องกันโลหะหนักไม่ให้รั่วไหลลงสู่ธรรมชาติได้คือ ใช้วัสดุดูดซับ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับทองแดง นิกเกิล และสังกะสีของดินลมหอบเมื่อผสมกับโซเดียมเบนโทไนท์ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบกะและแบบต่อเนื่อง วิธีการทดสอบแบบกะเป็นการทดสอบเพื่อหาสมดุลการดูดซับและไอโซเทอมการดูดซับโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ในการอธิบายการดูดซับ ส่วนการทดสอบแบบต่อเนื่องจะจำลองการดูดซับที่คล้ายกับสภาพความเป็นจริง คือ ปล่อยโลหะหนักลงสู่ดินและมีการชะล้างจากน้ำฝน จากการทดสอบพบว่า การทดสอบแบบกะ เบนโทไนท์ช่วยเพิ่มศักยภาพในการดูดซับโลหะหนักได้เป็นอย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับดินลมหอบปกติ โดยที่อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับคือ ดินลมหอบผสมกับ 40% เบนโทไนท์ เมื่อระยะเวลาผ่านไปความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักจะลดลงอย่างรวดเร็วจนเข้าสู่สมดุลที่เวลา 48 ชั่วโมง ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์สามารถอธิบายการดูดซับได้ดี ลำดับความสามารถในการดูดซับสูงสุด (β) คือ ทองแดง > สังกะสี > นิกเกิล สำหรับการทดสอบแบบต่อเนื่องพบว่า ดินสามารถดูดซับโลหะหนักได้มากในช่วงแรกและจะลดลงเรื่อยๆ การชะล้างของน้ำกลั่นสามารถชะล้างโลหะหนักได้เพียงเล็กน้อย และหลังจากการชะล้างด้วยน้ำกลั่นยังสามารถดูดซับโลหะหนักได้แค่ศักยภาพในการดูดซับลดลง

คำสำคัญ: การดูดซับ, โลหะหนัก, ไอโซเทอม, ดินลมหอบ, เบนโทไนท์

ABSTRACT

The increase of industrial plants is the main cause of various pollution problems and heavy metals are one of the harmful toxins. One approach to help prevent heavy metals from spilling into nature is to use adsorbent material. The objective of this research is to study the capacity to adsorb Copper, Nickel and Zinc of the loess as mixed with sodium bentonite using the batch test and column test. The batch test was used for finding the equilibrium time and adsorption isotherm based on the adsorption isotherm of

Yuttapong Chaipanha^{1*}, Pongsakorn Punrattanasin², Sirorat Pattanapairoj³

¹Master's student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

²Researcher, Research Center for Environmental and Hazardous Substance Management, Khon Kaen University

³Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Langmuir so as to clarify the adsorption. The column test was utilized for conducting the adsorption simulation closely similar to the actual condition; to release waste water onto the soil and rinse from the rain water. The experimental results showed that in the batch test, bentonite helps to increase the potential for absorbing heavy metals as well as compared with normal loess, where the appropriate ratio for adsorption is loess mixed with 40% bentonite. When the time elapsed, the concentration of the heavy metals solution dramatically decreased until reaching the equilibrium state at 48 hours. The adsorption isotherm of Langmuir performed the explication of the adsorption efficiently. The adsorption capacities (β) were ranked as follows: Copper > Zinc > Nickel: in the column test, it was found that the soil was capable of performing to adsorb heavy metals abundantly in the first period, and then it gradually decreased and leaching of the distilled water was able to less cleanse the heavy metals. After leaching, the soil was still able to adsorb the heavy metals but the capacity to adsorb was decreased.

KEYWORDS: Adsorption, Heavy metal, Isotherm, Loess, Bentonite

1. บทนำ

สังคมในยุคปัจจุบันมีการมีการแข่งขันและพัฒนาเพื่อความก้าวหน้าในหลายๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเทคโนโลยีและการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจทำให้เกิดการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรม ส่งผลให้มีการขยายและก่อตั้งโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นมาก [1] เช่น โรงงานถลุงแร่โลหะ โรงงานปุ๋ยเคมี และโรงงานสีย้อมผ้า เป็นต้น โรงงานเหล่านี้ล้วนแล้วเป็นตัวการหลักที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษ คือ ปัญหาน้ำเสีย ขยะ และของเสียที่เป็นอันตราย เช่น โลหะหนัก [2] โลหะหนัก (Heavy Metal) มีความคงตัวสูงไม่สามารถสลายตัวได้เองตามธรรมชาติทำให้เกิดการสะสมในดิน อากาศ และแหล่งน้ำ [3] เมื่อมีผู้ที่ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนสารละลายโลหะหนักจะเข้าสู่ร่างกาย ทำให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพตามมา เช่น เกิดคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องรุนแรง ท้องเดิน อุจจาระเป็นเลือด และอาจมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง เป็นต้น [4] ดังนั้นคุณลักษณะของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงงานต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อธรรมชาติ ซึ่งหนึ่งในวิธีการที่จะป้องกันสารพิษซึมลงสู่ชั้นธรรมชาติ คือ ใช้วัสดุดูดซับ [5] ที่สามารถดูดซับโลหะหนักป้องกันสารพิษที่ปะปนอยู่ในน้ำเสียไม่ให้ไหลซึมลงปนเปื้อนน้ำใต้ดินด้านล่าง

ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับโลหะหนักของดินชนิดต่างๆ พบว่า ดินลมหอบสามารถดูดซับโลหะหนักได้ [6] และเบนโทไนท์สามารถดูดซับโลหะหนักได้ดี [7] งานวิจัยนี้จึงเป็นงานวิจัยเชิงต่อยอดโดยการศึกษาการเพิ่มศักยภาพในการดูดซับโลหะหนักของดินลมหอบขอนแก่นด้วยเบนโทไนท์โดยใช้วิธีการทดสอบแบบกะ (Batch Test) และวิธีการทดสอบแบบต่อเนื่อง (Column Test) เพื่อเป็นแนวทางในการนำเบนโทไนท์มาช่วยเพิ่มศักยภาพให้กับดินลมหอบขอนแก่นในการดูดซับโลหะหนักซึ่งเป็นสารอันตราย ไม่ให้สารละลายโลหะหนักลงสู่ชั้นดินธรรมชาติที่อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

2. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

2.1 วัสดุดูดซับ

วัสดุผสมเพิ่มเพื่อช่วยการดูดซับที่ใช้ในการศึกษาเพื่อเป็นตัวดูดซับโลหะหนัก คือ โซเดียมเบนโทไนท์ ซึ่งมีคุณสมบัติดูดน้ำได้ดี มีอัตราการขยายตัวที่สูงเมื่อดูดน้ำ นำมาผสมกับดินลมหอบขอนแก่น โดยการเก็บตัวอย่างดินจะขุดลอกหน้าดินเพื่อไม่ให้มีสิ่งปะปน เช่น ใบไม้ เศษหญ้า อินทรีย์วัตถุ หรือสิ่งอื่นๆ เป็นต้น แล้วเก็บตัวอย่างดินที่ความลึกประมาณ 30–40 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน ตัวอย่างดินที่จะใช้สำหรับการทดสอบจะนำเข้าเตาอบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อบจนแห้งสนิทแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์

100 เพื่อแยกเศษหิน กรวด และสิ่งปะปนออกจากรันจัมแนกดินด้วยระบบ USCS ได้ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) ดังแสดงดังตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า สารประกอบหลักในดินส่วนใหญ่ คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ แต่ที่ดินเหนียวและเบนโทไนท์มีอลูมิเนียมออกไซด์เป็นส่วนประกอบคล้ายๆ กันทำให้ดินเหนียวมีความสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดี

2.2 สารละลายโลหะหนัก

โลหะหนัก ที่เลือกใช้ในการศึกษามี 3 ชนิด คือ ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้มักจะพบได้ง่ายในหลายพื้นที่และพบมากในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป การเตรียมสารละลายทำได้โดยการละลายโลหะหนักทั้งสามชนิดที่อยู่ในรูปสารประกอบไนเตรต ได้แก่ Copper Nitrate ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) Nickel Nitrate ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$) และ Zinc Nitrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$) ในน้ำกลั่นจนมีความเข้มข้นที่ต้องการ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบหลักของดิน

คุณสมบัติ	ดินลมหอบ	เบนโทไนท์
% ผ่านตะแกรงเบอร์ 4	100	100
% ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	12	90
พิกัดเหลว (%)	18.3	570
พิกัดพลาสติก (%)	13.1	100
ดัชนีความเหนียว (%)	5.2	470
ประเภทของดินตามระบบ USCS	SM	CH

ตารางที่ 2 องค์ประกอบหลักของดิน

องค์ประกอบ	ดินลมหอบ (% โดยน้ำหนัก)	เบนโทไนท์ (% โดยน้ำหนัก)
SiO_2	87.00	56.80
Al_2O_3	7.50	15.10
Fe_2O_3	2.00	9.79
Na_2O	-	2.01
อื่นๆ	3.5	16.3

3. วิธีการศึกษา

3.1 การทดสอบการดูดซับแบบกะ (Batch test)

การทดสอบแบบกะ เป็นการนำดินมาในปริมาณเพียงเล็กน้อย มาผสมกับสารละลายโลหะหนัก แล้วปล่อยให้ดินดูดซับโลหะหนักจนถึงระยะเวลาที่กำหนด จากนั้นจึงนำไปวัดความเข้มข้นเพื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ซึ่งทำได้โดย นำดินลมหอบและเบนโทไนท์ที่ได้จากการร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 200 ผสมกัน ปริมาณ 2.5 กรัม ใส่ลงในขวดแล้วเติมสารละลายปริมาตร 50

มิลลิลิตร จากนั้น นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที หลังจากเขย่าเสร็จกรองดินออกจากสารละลายด้วยตัวกรอง (Filter) แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดความเข้มข้น

3.1.1 สมดุลการดูดซับ เกิดขึ้นเมื่อการรับสารเข้าและคายสารออกของตัวดูดซับในสารละลายมีค่าเท่ากันที่อุณหภูมิหนึ่งๆ สมดุลนี้จึงเป็นลักษณะเฉพาะของระบบทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นตัวถูกละลาย ตัวทำละลาย อุณหภูมิ สารดูดซับ พิเอช และอื่นๆ ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุล โดยปกติจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย สำหรับการอธิบายความสมดุลที่เกิดขึ้นนั้นจะใช้ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm) เป็นตัวแทนในการอธิบาย [8]

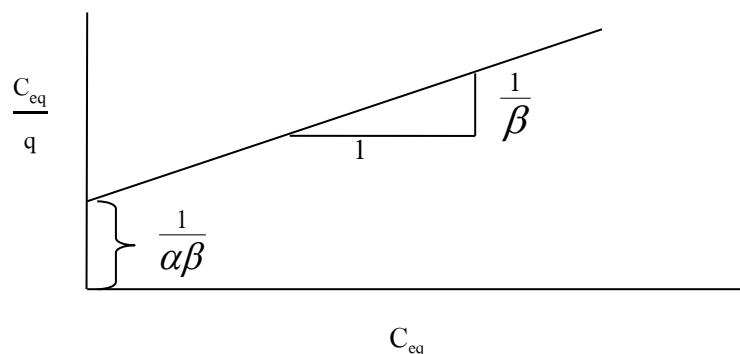
3.1.2 ไอโซเทอมการดูดซับ เมื่อทราบความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักหลังจากที่ถูกดินดูดซับแล้วจะนำไปวิเคราะห์หาไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm) ซึ่งไอโซเทอมการดูดซับคือความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลกับปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ โดยปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$q = \frac{(C_0 - C_{eq})V}{M} \quad (1)$$

เมื่อ q คือปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อปริมาณดินที่ใช้ดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม) C_0 , C_{eq} คือความเข้มข้นเริ่มต้นและความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารละลาย (มิลลิกรัม / ลิตร) V คือปริมาตรของสารละลายที่ใช้ (ลิตร) และ M คือมวลของดินที่ใช้ดูดซับ (กรัม) หลังจากที่ได้หาปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับแล้วจะทำการสร้างไอโซเทอมการดูดซับซึ่งในที่นี้เลือกใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์เพื่อหาค่าคงที่การดูดซับและปริมาณสูงสุดของสารละลายที่ดินสามารถดูดซับได้ โดยไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์มีสมการในรูปเส้นตรงดังสมการที่ 2

$$q = \frac{\alpha\beta C_{eq}}{1 + \alpha C_{eq}} \quad (2)$$

เมื่อ α คือค่าคงที่การดูดซับของแลงเมียร์ (ลิตรต่อมิลลิกรัม) และ β คือปริมาณสูงสุดของสารละลายโลหะที่ถูกดูดซับต่อปริมาณดินที่ใช้ดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม) ซึ่งสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C_{eq}/q กับ C_{eq} จะสามารถคำนวณหาค่า β ได้ดังรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์

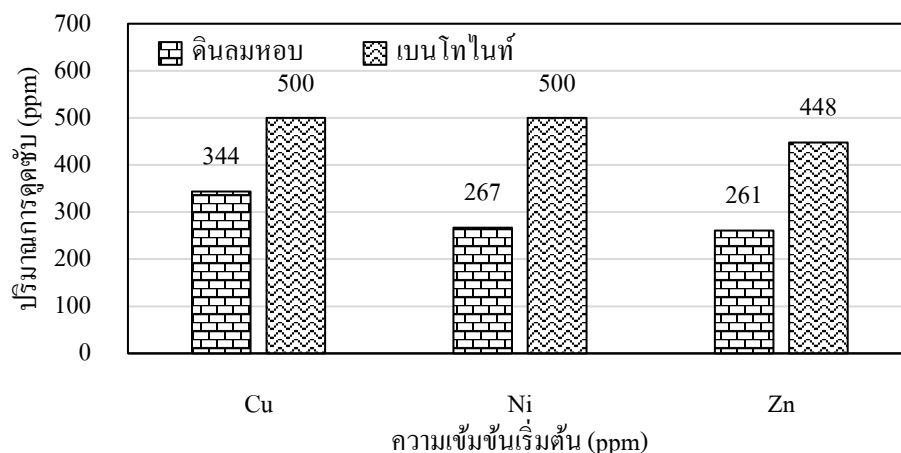
3.2 การทดสอบการดูดซับแบบต่อเนื่อง (Column test)

การทดสอบแบบต่อเนื่อง เป็นการทดสอบที่ใช้ตัวอย่างปริมาณมากบรรจุในกระบอกทดสอบ แล้วปล่อยให้สารละลายโลหะหนักซึมผ่านจากบนลงล่างของกระบอกทดสอบ แล้วเก็บสารละลายที่ไหลผ่านไปวัดความเข้มข้น ซึ่งทำได้โดย นำดินลมหอบและเบนโทไนท์ที่ได้จากการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ผสมกัน ปริมาณ 20 กรัม ใส่ลงในกระบอกทดสอบแล้วเติมสารละลายโลหะหนักการทดสอบแบ่งเป็น 3 รอบ รอบแรกใช้สารละลายโลหะหนักเพื่อจำลองการปล่อยน้ำเสียลงสู่ดิน รอบที่สองใช้น้ำกลั่นเพื่อจำลองการเกิดฝน และรอบสุดท้ายใช้สารละลายโลหะหนักเพื่อจำลองการปล่อยน้ำเสียอีกครั้ง ในแต่ละรอบจะปล่อยสารละลายลงสู่ตัวอย่าง อย่างต่อเนื่อง และเมื่อสารละลายไหลซึมผ่านชั้นตัวอย่างจนกระทั่งเวลาผ่านไป 100 นาที จะเก็บสารละลายไปหาความเข้มข้น และจะเก็บข้อมูลทุกๆ 100 นาที รอบละ 10 ครั้ง ผลการดูดซับการไหลแบบต่อเนื่องจะนำเสนอเป็นค่าระหว่างความเข้มข้นที่เก็บแต่ละครั้งต่อความเข้มข้นเริ่มต้น กับระยะเวลาการไหลซึมผ่านดินของสารละลาย ซึ่งจะได้เป็นกราฟที่เรียกว่า กราฟเบรคทรู (Breakthrough curve)

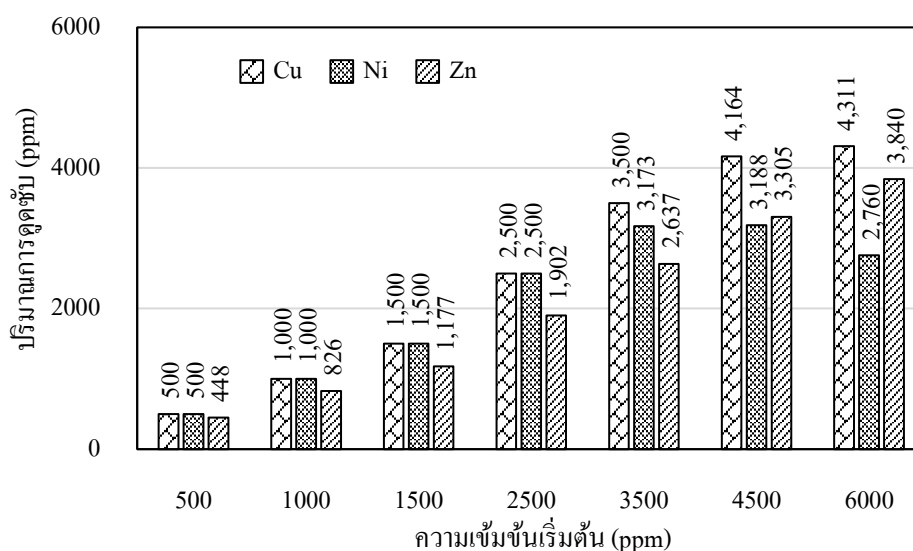
4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการทดสอบแบบกะ

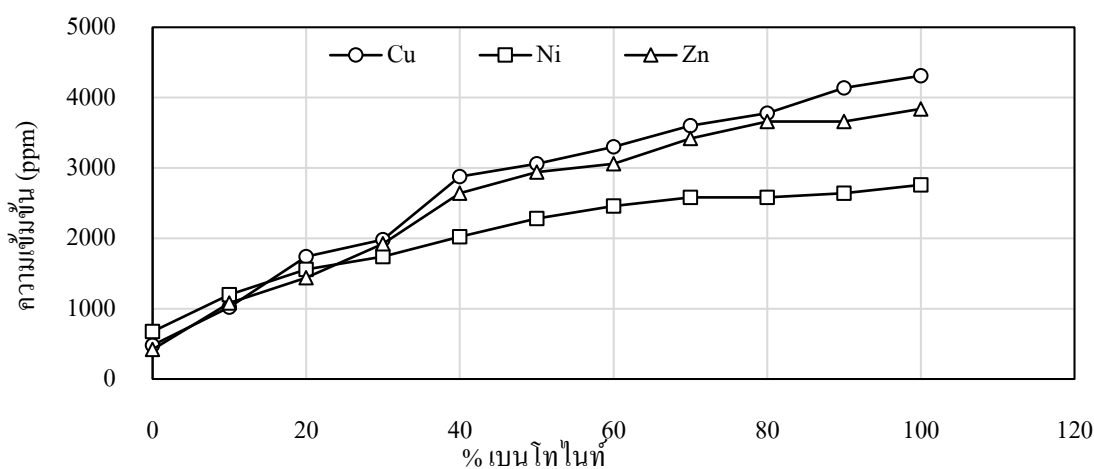
เพื่อหาความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบ โดยทั่วไปความเข้มข้นที่ใช้สำหรับการทดสอบการดูดซับจะใช้ประมาณ 250–500 ppm ในที่นี้จึงเลือกใช้ความเข้มข้น 500 ppm เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นสำหรับการทดสอบ จากรูปที่ 2 พบว่าสารละลายโลหะหนักความเข้มข้น 500 ppm สำหรับดินลมหอบสามารถดูดซับได้ไม่หมด ส่วนเบนโทไนท์สามารถดูดซับได้หมด 500 ppm แต่อาจจะไม่ใช่ศักยภาพในการดูดซับสูงสุดของเบนโทไนท์ จึงได้เปลี่ยนความเข้มข้นเพื่อหาศักยภาพสูงสุดที่เบนโทไนท์สามารถดูดซับได้ โดยเพิ่มความเข้มข้นเป็น 1,000, 1,500, 2,500, 3,500, 4,500 และ 6,000 ppm จากรูปที่ 3 ที่ความเข้มข้นต่ำๆ เบนโทไนท์สามารถดูดซับโลหะหนักส่วนใหญ่ได้หมดซึ่งทำให้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ผลอะไรได้เพราะอาจจะไม่ใช่ศักยภาพการดูดซับสูงสุดที่ดูดซับได้ จนกระทั่งความเข้มข้น 4,500 ppm ดินดูดซับโลหะหนักได้ไม่หมดจึงเป็นค่าความเข้มข้นที่สามารถเริ่มนำผลไปวิเคราะห์ได้ แต่เพื่อให้มั่นใจว่าดินสามารถดูดซับโลหะหนักได้หมดในที่นี้จึงเลือกใช้ค่าความเข้มข้นที่ 6,000 ppm เป็นค่าความเข้มข้นเริ่มต้นสำหรับการทดสอบซึ่งเป็นค่าที่ไม่ต่ำและไม่สูงจนเกินไป สำหรับการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 เป็นการเลือกหาอัตราส่วนผสมระหว่างดินและเบนโทไนท์ ที่จะใช้สำหรับการทดสอบในลำดับต่อไป ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่ 6,000 ppm จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโลหะของดินชนิดต่างๆ กับอัตราส่วนผสมของดินชนิดต่างๆ กับเบนโทไนท์ แสดงให้เห็นว่า ดินที่ไม่ได้ผสมอะไรเลยมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้น้อย แต่พอผสมเบนโทไนท์เพิ่มเข้าไปทำให้ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักมากขึ้น และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอัตราส่วนผสมเบนโทไนท์ที่เพิ่มเข้ามา ซึ่งความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของดินส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นมากในช่วงอัตราส่วนผสม 0–40% ของเบนโทไนท์ หลังจากนั้น ช่วง 50–100% ของเบนโทไนท์ จะเริ่มแตกต่างกันไม่มากการดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นการดูดซับของเบนโทไนท์ ดังนั้น จึงเลือกอัตราส่วนผสมที่ 40% ของเบนโทไนท์เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด จึงใช้อัตราส่วนผสมนี้สำหรับการทดสอบในลำดับต่อไป



รูปที่ 2 ปริมาณการดูดซับของดินที่ความเข้มข้น 500 ppm



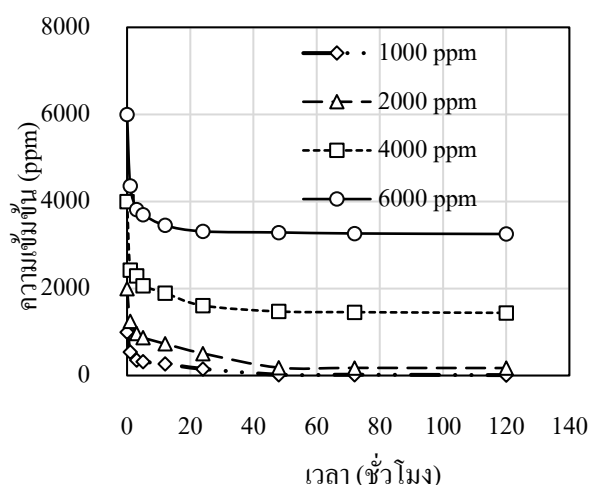
รูปที่ 3 ปริมาณการดูดซับโลหะหนักของเบนโทไนท์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ



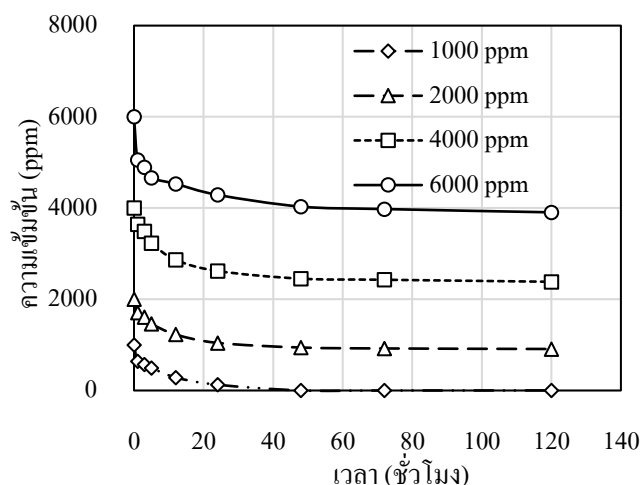
รูปที่ 4 ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของดินลมหอบผสมกับเบนโทไนท์

4.2 สมดุลการดูดซับ

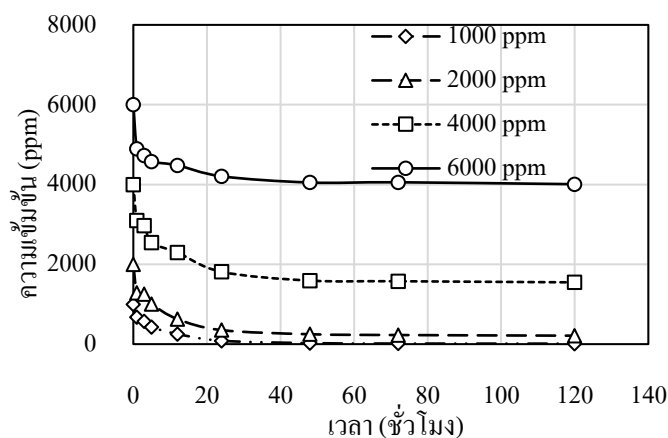
จากการหาปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่เมื่อที่ระยะเวลา 1, 3, 5, 12, 24, 48, 72 และ 120 ชั่วโมง หลังจากผสมดินที่ผสมเบนโทไนท์ 40% เข้ากับสารละลายโลหะหนักโดยใช้ความเข้มข้น 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 ppm เมื่อนำมาพล็อตเป็นกราฟระหว่างระยะเวลาของการดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายทำให้ทราบถึงการดูดซับที่เกิดขึ้นที่ระยะเวลาต่างๆ ของโลหะแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 5-7 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักจะลดลง แสดงให้เห็นว่าดินที่ผสมกับเบนโทไนท์สามารถดูดซับสารละลายโลหะหนักได้ และเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสูงขึ้น ก็ยังสามารถดูดซับได้ปริมาณสูงขึ้น ที่ระยะเวลาการดูดซับ 48 ชั่วโมง เส้นกราฟมีลักษณะเป็นแนวนอน แสดงว่า ปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะหนักทั้งสามชนิดไม่เพิ่มขึ้นหรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยที่ระยะเวลาการดูดซับ 48 ชั่วโมงเป็นต้นไป ซึ่งสภาวะสมดุลการดูดซับเกิดขึ้นเมื่ออัตราการดูดซับและคายการดูดซับเท่ากัน



รูปที่ 5 การดูดซับทองแดงที่ระยะเวลาต่างๆ



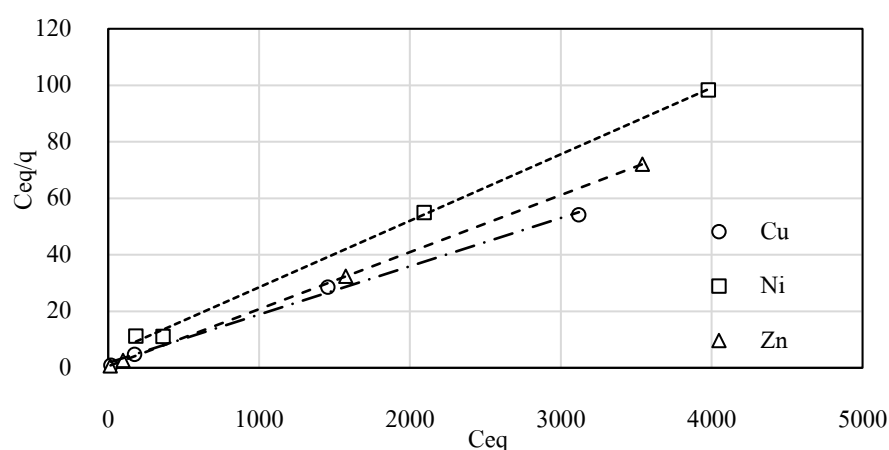
รูปที่ 6 การดูดซับนิกเกิลที่ระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 7 การดูดซับสังกะสีที่ระยะเวลาต่างๆ

4.3 ไอโซเทอมการดูดซับ

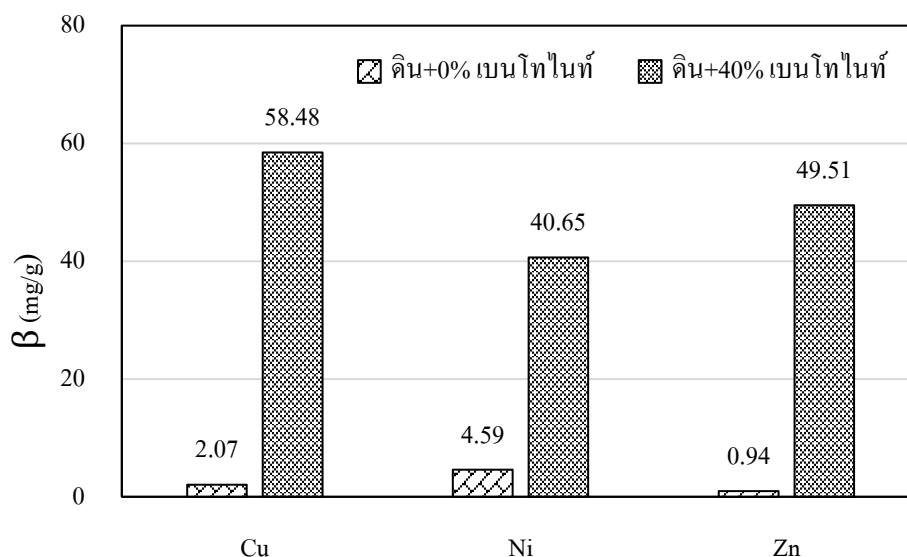
จากการทดสอบหาค่าความสามารถในการดูดซับของทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ของดินลมหอบ เมื่อผสมเบนโทไนท์ 40% โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักในช่วง 1,000-6,000 ppm แล้วปล่อยให้เกิดการดูดซับจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลการดูดซับ เพื่อหาความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสารละลาย เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์จะได้กราฟแสดงดังรูปที่ 8 มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงสามารถคำนวณค่า β ได้จากกราฟซึ่งแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่า R-Square ส่วนใหญ่มีค่าเข้าใกล้ 1 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์สามารถอธิบายการดูดซับโลหะหนักของดิน ลมหอบเมื่อผสมกับดินเหนียวเบนโทไนท์ได้ดี ซึ่งค่า β ในไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์นี้มีความหมายทางกายภาพ คือ ปริมาณการดูดซับโลหะหนักสูงสุดที่ดินสามารถดูดซับได้โดยคิดต่อน้ำหนักดินหนึ่งหน่วย (มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม) ยกตัวอย่างเช่น การดูดซับทองแดงมีค่า β เท่ากับ 58.48 มิลลิกรัมต่อกรัม หมายความว่า ตัวอย่างปริมาณ 1 กรัม สามารถดูดซับได้สูงสุด 58.48 มิลลิกรัม เป็นต้น จากตารางที่ 3 เมื่อนำค่า β เปรียบเทียบระหว่างดินที่ไม่ผสมอะไรเลยกับดินที่ผสมกับเบนโทไนท์ 40% จะได้ผลดังรูปที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เบนโทไนท์ช่วยให้ดินมีความสามารถดูดซับโลหะหนักสูงสุดเพิ่มมากขึ้นหลายเท่าตัวเมื่อเทียบกับดินที่ไม่ได้ผสมเบนโทไนท์



รูปที่ 8 ไอโซเทอมการดูดซับ

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์

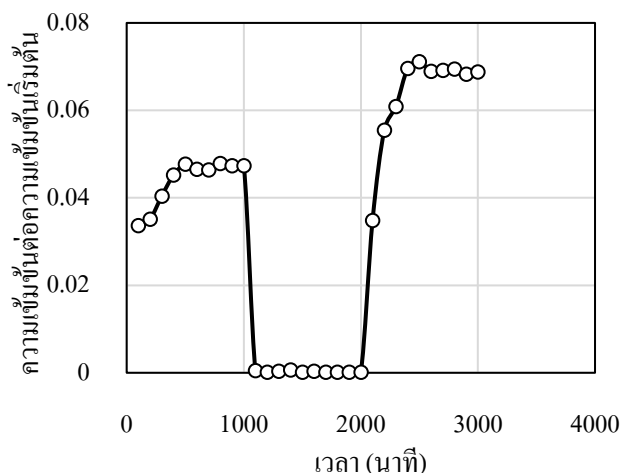
โลหะหนัก	β	R^2
ทองแดง	58.48	0.9967
นิกเกิล	40.65	0.9988
สังกะสี	49.51	1.0000



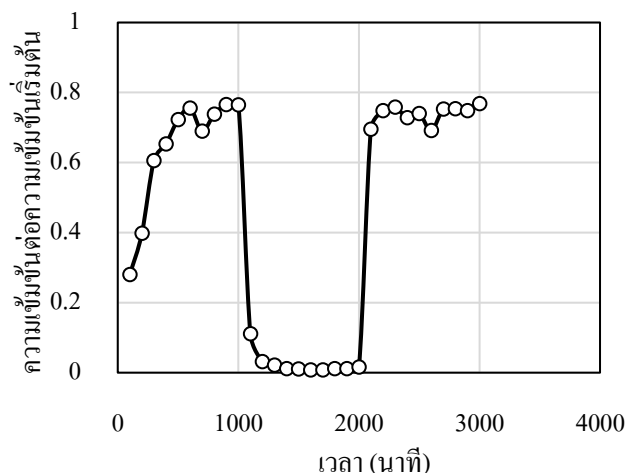
รูปที่ 9 ปริมาณการดูดซับสูงสุดของดินลมหอบ

4.4 การทดสอบแบบต่อเนื่อง

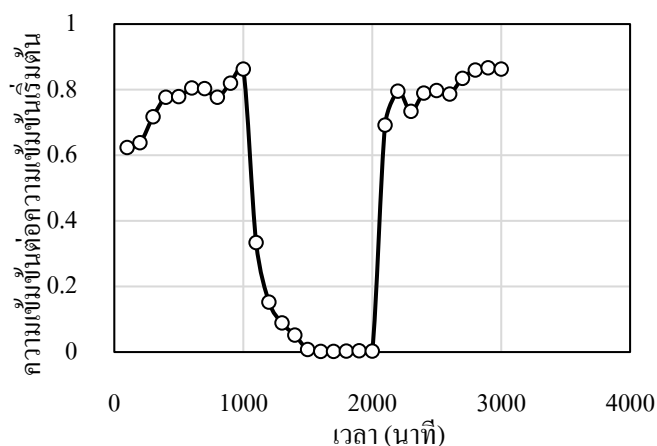
จากการทดสอบแบบกะพบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดคือ ดินลมหอบผสมกับเบนโทไนท์ 40% ในการทดสอบแบบต่อเนื่องจึงได้ผสมดินแต่ละชนิดเข้ากับเบนโทไนท์ 40% เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับ และความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่ใช้คือ 10,000 ppm โดยผลการทดสอบที่ได้สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 10-12 เป็นกราฟเบรคทรูแสดงผลการทดสอบการดูดซับแบบต่อเนื่องในดินลมหอบผสมกับเบนโทไนท์ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับดินเหนียวและทราย โดยแกนของกราฟเป็นเวลาปล่อยให้สารละลายโลหะหนักซึมผ่านตัวอย่างและแกนตั้งคือความเข้มข้นของสารละลายที่เก็บในแต่ละครั้งต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย ซึ่งกราฟจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ตามช่วงเวลาการทดสอบ จากรูปที่ 10-12 จะเห็นว่า ในรอบที่ 1 เป็นการใส่สารโลหะหนัก ความเข้มข้นที่เหลืออยู่มีค่าน้อยและจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา แสดงว่าดินสามารถดูดซับได้มากในช่วงแรกคือดินสามารถดูดซับได้เกือบหมดและจะลดลงเรื่อยๆ แสดงว่าดินเริ่มมีการจับโลหะหนักไว้ที่ผิว ในรอบที่ 2 เป็นการปล่อยน้ำกลั่นลงสู่ดิน ความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าน้อยมาก แสดงว่าน้ำกลั่นสามารถชะล้างโลหะหนักได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และในรอบสุดท้ายหลังจากชะล้างด้วยน้ำกลั่น ตัวอย่างยังสามารถดูดซับโลหะหนักไว้ได้เรื่อยๆ และมีลักษณะแนวโน้มคล้ายๆ กับรอบที่ 1 สำหรับทองแดงและสังกะสี จากรูปที่ 10 และรูปที่ 12 จุดก่อนชะมีค่าต่ำกว่าจุดหลังชะ แสดงว่าเมื่อมีการชะด้วยน้ำทำให้สามารถดูดซับทองแดงและสังกะสีได้เพิ่มมากขึ้น และรูปที่ 10 ค่าในแกนตั้งต่างจากรูปที่ 11 และรูปที่ 12 ความเข้มข้นต่อความเข้มข้นเริ่มต้น 0.2-0.8 แสดงว่าดินดูดซับทองแดงได้ดีมาก เมื่อเรียงลำดับความสามารถดูดซับโลหะหนักได้ คือ ทองแดง > นิกเกิล > สังกะสี



รูปที่ 10 การดูดซับทองแดงของดินลมหอบผสมเบนโทไนท์



รูปที่ 11 การดูดซับนิกเกิลของดินลมหอบผสมเบนโทไนท์



รูปที่ 12 การดูดซับสังกะสีของดินลมหอบผสมเบนโทไนท์

5. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการเพิ่มศักยภาพในการดูดซับโลหะหนักของดินลมหอบขบแค้นด้วยเบนโทไนท์ พบว่า การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับคือ ดินลมหอบผสมกับ 40% เบนโทไนท์ ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์สามารถอธิบายการดูดซับได้ดี ดินลมหอบเมื่อผสมกับเบนโทไนท์มีความสามารถดูดซับทองแดงได้มากที่สุดและดูดซับนิกเกิลได้น้อยที่สุด ซึ่งเบนโทไนท์ช่วยเพิ่มศักยภาพในการดูดซับโลหะหนักสูงสุดของดินลมหอบได้หลายเท่าตัว และเมื่อศึกษาพฤติกรรมดูดซับด้วยวิธีการทดสอบแบบต่อเนื่อง พบว่า ดินสามารถดูดซับโลหะหนักได้มากในช่วงแรกและจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากโลหะหนักเกาะที่ผิวดินมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] พงศกร พรหมรัตน์ศิลป์, เลิศ เกิดชัยภูมิ. การศึกษาความสามารถการดูดซับโลหะหนักโดยดินมูกดาหารในห้องปฏิบัติการ. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 2555, 23(2), หน้า 21-27

-
- [2] นพพล เสี่ยมศักดิ์. ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ โลหะหนักของตัวอย่างดินที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2557.
- [3] นพพล เสี่ยมศักดิ์, พงศกร พรณรัตน์ศิลป์. การดูดซับโลหะหนักของดินลมหอบสีแดง. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, 2554, 22(1), หน้า 1-8
- [4] Kurniawan, T.A., Chan, G.Y.S., Lo, W.H. and Babel, S. Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 2006, 118, pp. 83-98
- [5] ทศนางกุล ดุลยากรณ์. การใช้ฟอสโฟลัมซัมดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ. ธนบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553.
- [6] Punrattanasin, P., Sariem, P. Adsorption of Copper, Zinc, and Nickel Using Loess as Adsorbents. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2015, 24, pp. 319-326
- [7] กิตติพงษ์ ธรรมณีกุล. การลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการดูดซับด้วยเบนโทไนท์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล, 2548.
- [8] ชฎาภรณ์ บุญแท้. การดูดซับโลหะหนักบางชนิดจากน้ำเสียด้วยดินเบา. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

