

การศึกษาความสามารถการดูดซับโลหะหนักโดยดินมูกดาหารในห้องปฏิบัติการ

The Sorption Capacity of Heavy Metals by Mukdahan Soil in Laboratory

พงศกร พรณรัตน์ศิลป์^{1,3} และ เลิศ เกิดชัยภูมิ²

Pongsakorn Punrattanasin and Lerd Kerdchaiyaphum

¹รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น²นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น³ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย ศูนย์เครือข่ายมหาวิทยาลัยขอนแก่นE-mail: ppunrattanasin@gmail.com^{1,3}, lerdkerd@gmail.com²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการดูดซับโลหะหนักในดินที่เก็บจากอำเภอเมือง จังหวัดมูกดาหาร การทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบแบบช้าและการทดสอบแบบคอลัมน์ ผลจากการทดสอบแบบช้าพบว่า ในช่วงระยะเวลา 36 – 48 ชั่วโมง ความเข้มข้นของสารละลายทองแดง สังกะสี และนิเกิล ถูกดูดซับด้วยดินเข้าสู่สภาวะสมดุล และปริมาณสูงสุดของสารละลายโลหะที่ถูกดูดซับต่อปริมาณดินที่ใช้ดูดซับ (β) เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ ทองแดง สังกะสี และนิเกิล ตามลำดับ ส่วนค่าอัตราการดูดซับของแลงเมียร์ (α) จะอยู่ในช่วง 0.007 – 0.015 L/mg สำหรับการทดสอบแบบคอลัมน์ได้ประดิษฐ์เครื่องมือขึ้นมาใหม่โดยเฉพาะเพื่อทดสอบหาค่าการดูดซับสารละลายโลหะหนัก เครื่องมือนี้สามารถจำลองสภาวะที่เกิดการดูดซับโลหะหนักในชั้นดิน จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อสารละลายโลหะหนักกระจายทั่วตัวอย่างทดสอบอัตราการไหลลดลง แต่มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับที่พบจากการทดสอบแบบช้า

Abstract

This paper presents the sorption capacities of heavy metals by soil from Mukdahan city. The amount of contaminations adsorbed in soil was measured using the batch adsorption test. Chemical analyses were performed with an Atomic Absorption Spectrometer (AAS). The

equilibrium conditions required are around 36 – 48 hours of shaking between soils with heavy metals. The sorption capacities of heavy metals in soils ranked from the highest were copper, zinc and nickel, respectively. The highest sorption capacity by considering the α and β values from Langmuir isotherm. Finally, the column test is used to investigate the transportation phenomena of liquid into soil layer. The results also show the flow rate and sorption capacities of soil found in Mukdahan city.

Keywords: Adsorption, Heavy metals, Isotherm

1. บทนำ

จากปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ สาเหตุอย่างหนึ่งของปัญหาสิ่งแวดล้อมคือ การขยายตัวเพิ่มขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมลพิษที่โรงงานอุตสาหกรรมปล่อยสู่ธรรมชาติ ส่งผลต่อระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิตอย่างรุนแรง ปัญหาอย่างหนึ่งก็คือ การลักลอบปล่อยสารเคมีหรือการรั่วไหลของสารเคมีลงสู่ดิน น้ำ และอากาศ [1] โดยตรงโดยไม่มีการบำบัด ปรับปรุง ให้ได้ตรงตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยมีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคม มีการลงทุนก่อตั้งโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นมากมาย การจัดตั้งโรงงานส่วนใหญ่อยู่ใกล้บริเวณแหล่งน้ำที่สำคัญเพื่อประโยชน์ในการสูบน้ำมาใช้ในงานทางอุตสาหกรรมเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุน [7] การใช้ดินเป็นแหล่งในการกักเก็บของเสียหรือกากตะกอนน้ำเสียที่มีโลหะหนักปะปนอยู่

เพราะดินเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ทั่วไปโดยดินจะประกอบไปด้วยประจุลบเป็นจำนวนมากทำให้สามารถดึงดูดประจุบวกของโลหะหนักให้มายึดติดผิวดินได้ดีขึ้นอยู่กับประเภทของโลหะหนักรวมถึงลักษณะคุณสมบัติของดิน [3] ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาการดูดซับโลหะหนักในดินที่เก็บจากอำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร ซึ่งมีแม่น้ำที่สำคัญคือแม่น้ำโขงและเป็นเขตเศรษฐกิจที่สามารถเดินทางเชื่อมต่อกับประเทศเพื่อนบ้านได้

2. วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

2.1 ดินที่ใช้ในการทดสอบ

ในการศึกษาวิจัยนี้ ใช้ตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บจากอำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร ที่พิกัดตำแหน่ง 16°32'4.26"N, 104°43'9.90"E โดยเก็บตัวอย่างดินแบบเปลี่ยนสภาพที่ระดับความลึก 20 – 50 เซนติเมตร จากผิวดินเดิม การจำแนกดินระบบ USCS สามารถจำแนกประเภทของดินได้เป็นดินเหนียวที่มีสภาพพลาสติกต่ำ (CL) ซึ่งคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางวิศวกรรม แสดงดังตารางที่ 1 ภาพกำลังขยายขนาดของเม็ดดินทดสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 5000 เท่าพบว่า ลักษณะของเม็ดดินมีพื้นที่ผิวขรุขระ กระจัดกระจายและมีรูพรุนสูง ดังแสดงในรูปที่ 1

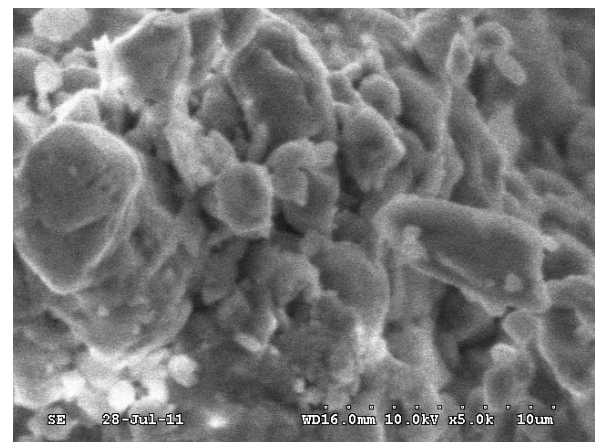
2.2 สารละลายโลหะหนักที่ใช้ในการศึกษา

การเตรียมสารละลายโลหะหนักที่ใช้ทดสอบคือ ทองแดง สังกะสี และนิเกิล [5] ซึ่งมีรายชื่อของสารมลพิษอันดับต้นของ US Environmental Protection Agency (U.S.EPA) เช่น ทองแดงมักพบว่าเป็นสารประกอบช่วยในการผลิตกระดาษ ใช้ในงานรักษาเนื้อไม้ และสี เป็นต้น [4] โดยความ

เข้มข้นที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้คือ 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากความเข้มข้นที่ได้เลือกใช้เป็นการสมมุติขึ้นมาเพื่อในการทดสอบ ซึ่งคุณสมบัติสารละลายโลหะหนักที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของดินที่เก็บจากจังหวัดมุกดาหาร

Soil Properties	มุกดาหาร
Soil Classification (USCS)	CL
Soil Classification (ASSHTO)	A – 7 – 6
Specific Gravity	2.62
Liquid Limit (%)	46.00
Plastic Limit (%)	15.00
Plasticity Index (%)	31.00
Optimum Moisture Content (%)	19.81
Maximum Dry Unit Density (kN/m ³)	15.37
Coefficient of Permeability (cm/s)	4.63 x 10 ⁻⁷



รูปที่ 1 ภาพขยาย 5000 เท่าของดินมุกดาหาร

ตารางที่ 2 คุณสมบัติสารละลายโลหะหนัก

Compound	Copper Nitrate	Zinc Nitrate	Nickel Nitrate
Formula	Cu(NO ₃) ₂	Zn(NO ₃) ₂	Ni(NO ₃) ₂
Molecular weight (g/mol)	295.65	297.49	290.79
Density (g/cm ³)	2.070	2.065	2.050
Solubility (g/100 mL)	137.8	184.3	94.2

3. วิธีการศึกษา

การศึกษาการดูดซับโลหะหนักในดินแบ่งการทดสอบส่วนใหญ่เป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบแบบช้าและการทดสอบแบบคอลัมน์ ซึ่งรายละเอียดของแต่ละการทดสอบมีดังต่อไปนี้

3.1 การทดสอบแบบช้า (Batch Adsorption Test)

การหาไอโซเทอมการดูดซับของแกลเมียร์ เริ่มจากนำตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หนัก 2.5 กรัม ใส่ลงในขวดทดลองขนาด 120 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมสารละลายโลหะหนักปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่าทันทีที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างที่เวลา 0.5, 1, 3, 6, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ แล้วทำการกรองสารละลายโลหะหนักโดยใช้ตัวกรอง (Filter) พร้อมทั้งเจือจางด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำตัวอย่างสารละลายโลหะหนักไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นสุดท้ายด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) [2] แสดงดังรูปที่ 2 หลังจากนั้นทำการทดสอบซ้ำโดยเปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนัก ซึ่งความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้มี 5 ค่า ใช้ตัวอย่างทดสอบ 5 ชุดต่อความเข้มข้นหนึ่งค่า มีสารละลายโลหะหนัก 3 ชนิด ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ทำการทดสอบแบบช้าทั้งหมดรวม 600 ครั้ง

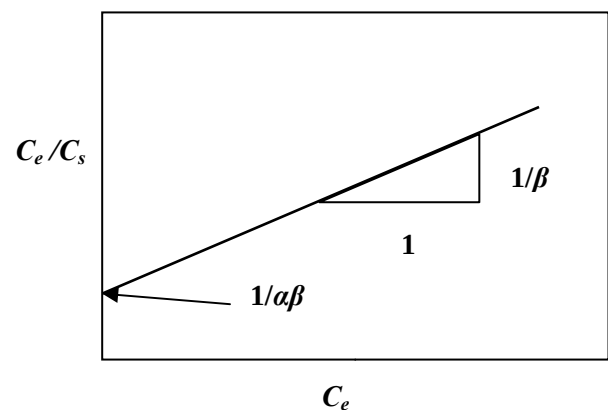


รูปที่ 2 Atomic Absorption Spectrometer (AAS)

ซึ่งปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อปริมาณดินที่ใช้ดูดซับสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$C_s = \frac{(C_0 - C_e)V_{sol}}{M_s} \quad (1)$$

เมื่อ C_s คือปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อปริมาณดินที่ใช้ดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม), C_0 คือความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร), C_e คือความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร), V_{sol} คือปริมาตรของสารละลายที่ใช้ (มิลลิลิตร), M_s คือมวลของดินที่ใช้ดูดซับ (กรัม) การศึกษาครั้งนี้ใช้ไอโซเทอมการดูดซับของแกลเมียร์ในการวิเคราะห์ เพราะถ้าค่า C_e เพิ่มขึ้นค่า C_s ที่ได้จะมีค่าไม่เกิน β ซึ่งสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C_e / C_s กับ C_e จะสามารถคำนวณหาค่า α และ β ได้ดังรูปที่ 3 ดังนี้



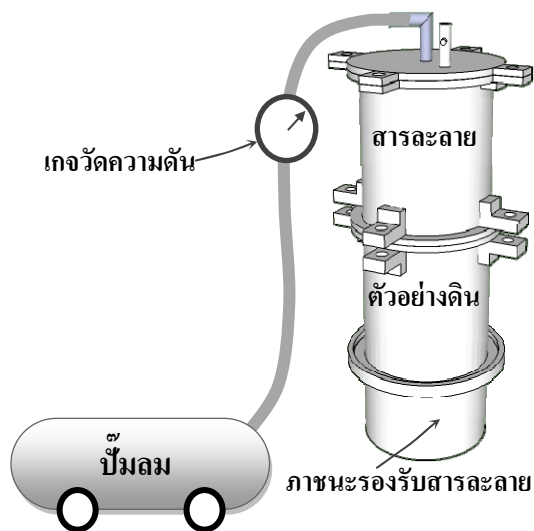
รูปที่ 3 ไอโซเทอมการดูดซับของแกลเมียร์

เมื่อ β คือ ปริมาณสูงสุดของสารละลายโลหะที่ถูกดูดซับต่อปริมาณดินที่ใช้ดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ α คือค่าอัตราการดูดซับของแกลเมียร์ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

3.2 การทดสอบแบบคอลัมน์ (Column Test)

การทดสอบแบบคอลัมน์เป็นการจำลองการดูดซับโลหะหนักในชั้นดิน [6] โดยการจำลองการดูดซับโลหะหนัก 3 สภาวะคือสภาวะแรกการปล่อยโลหะหนักลงในดิน สภาวะที่สองการเกิดฝนตก และสภาวะที่สามปล่อยโลหะหนักลงในดินอีกครั้ง การทดสอบจึงสามารถแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงที่หนึ่งเติมสารละลายโลหะหนัก ช่วงที่สองเติมน้ำกลั่น และช่วงที่สามเติมสารละลายโลหะหนัก ซึ่งแต่ละช่วงใช้เวลาทดสอบ 144

ชั่วโมง รวมเวลาทั้งหมด 432 ชั่วโมง การทดสอบเริ่มนำตัวอย่างดินมาทำการบดอัดในโมลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 4.6 นิ้ว บดอัดแบบสแตนด์คาร์ดพรอคเตอร์ที่ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สุด (OMC) แล้วนำประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบที่ประดิษฐ์ขึ้นมาแสดงดังรูปที่ 4 พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ช่วยเพิ่มแรงดันเป็นแรงอัดอากาศซึมผ่านได้เร็วขึ้น โดยแรงดันที่ใช้คือ 1 kg/cm^2 ตลอดทั้งการทดสอบ ความชื้นเริ่มต้นที่ใช้มี 2 ค่าคือ 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับเก็บตัวอย่างทดสอบทุกๆ 6 ชั่วโมง ใช้ตัวอย่างดินทดสอบ 3 ชุดต่อความชื้นหนึ่งค่า ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ทำการทดสอบแบบคอลัมน์ทั้งหมดรวม 18 ครั้ง

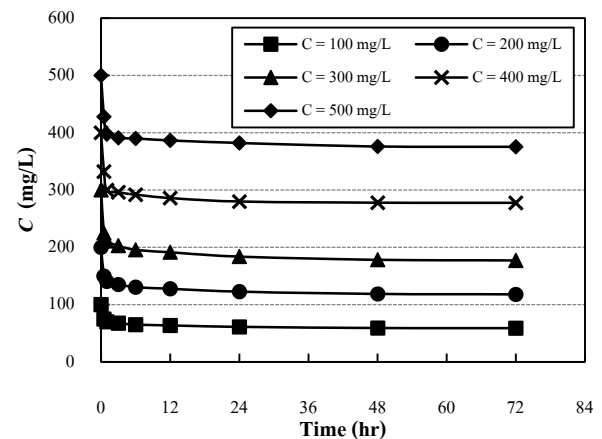


รูปที่ 4 เครื่องทดสอบแบบคอลัมน์

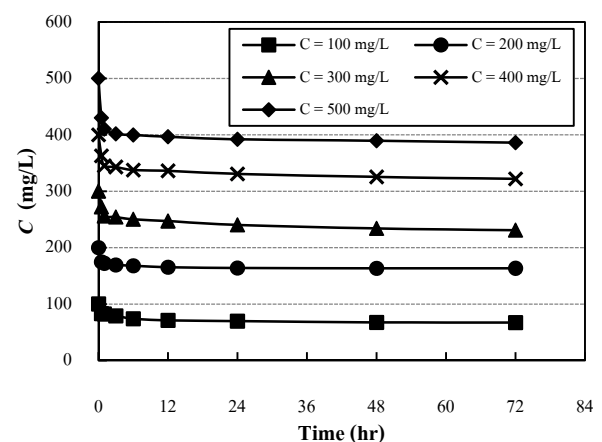
4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบแบบซ้ำ (Batch Adsorption Test)

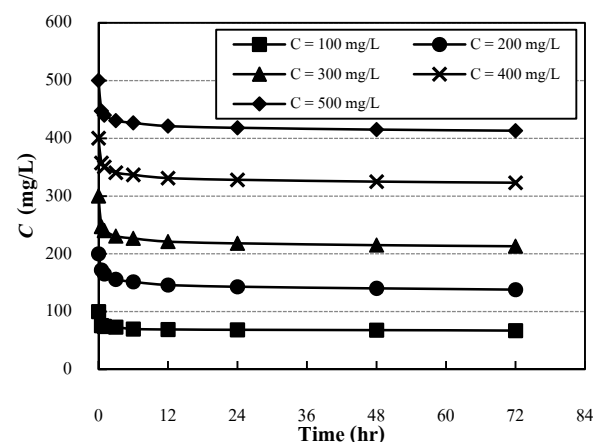
ผลการทดสอบการดูดซับสารละลายโลหะหนักของตัวอย่างดินอำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร จะสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการดูดซับ (Time) กับความเข้มข้นของสารละลาย (C) จากความสัมพันธ์พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการทดสอบใช้เวลาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนสิ้นสุดการทดสอบจากรูปที่ 5 – 7 แสดงให้เห็นว่าการดูดซับสารละลายโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งการดูดซับจะเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลในช่วงระยะเวลา 36 – 48 ชั่วโมง



รูปที่ 5 การดูดซับสารละลายทองแดง



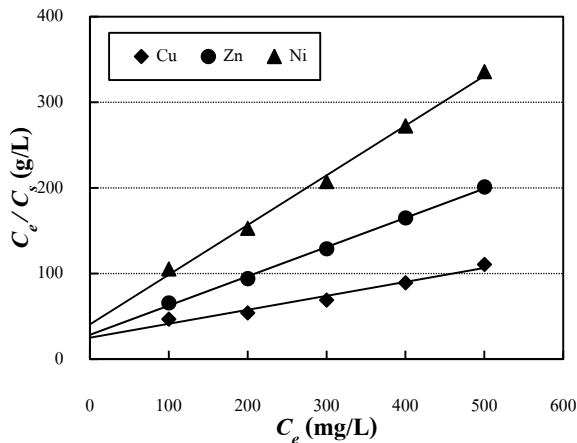
รูปที่ 6 การดูดซับสารละลายสังกะสี



รูปที่ 7 การดูดซับสารละลายนิเกิล

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (C_e) ต่อปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อปริมาณดินที่ใช้ดูดซับ (C_s) กับความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (C_e) ดัง

แสดงในรูปที่ 8 ซึ่งลักษณะของกราฟจะเป็นเส้นตรง สามารถหาไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ ซึ่งค่าที่ได้คือปริมาณสูงสุดของสารละลายโลหะที่ถูกดูดซับต่อปริมาณดินที่ใช้ดูดซับ (β) และค่าอัตราการดูดซับของแลงเมียร์ (α) ดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 8 ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของไอโซเทอมแลงเมียร์

Solution	α (L/mg)	β (mg/g)	R^2
Copper	0.007	6.135	0.970
Zinc	0.012	2.926	0.998
Nickel	0.015	1.718	0.997

4.2 ผลการทดสอบแบบคอลัมน์ (Column Test)

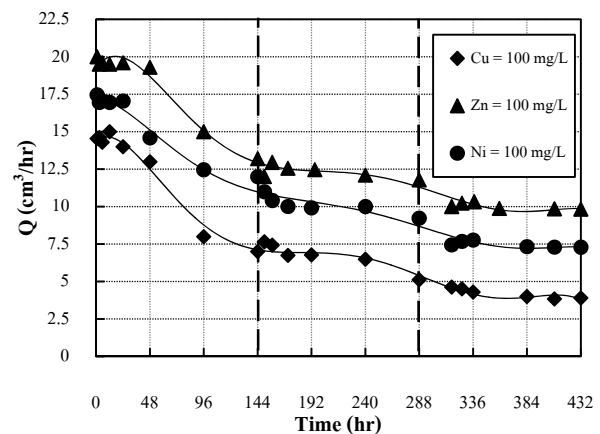
จากการทดสอบการดูดซับสารละลายโลหะหนักของดินมูกดาหารโดยการจำลองสภาวะการดูดซับในเวลา 3 ชั่วโมง สามารถหาอัตราการไหลซึมผ่านของสารละลายโลหะหนักในดินและความเข้มข้นสารละลายโลหะหนักที่วัดได้ดังต่อไปนี้

4.2.1 อัตราการไหลซึมผ่านของสารละลายโลหะหนักในดิน

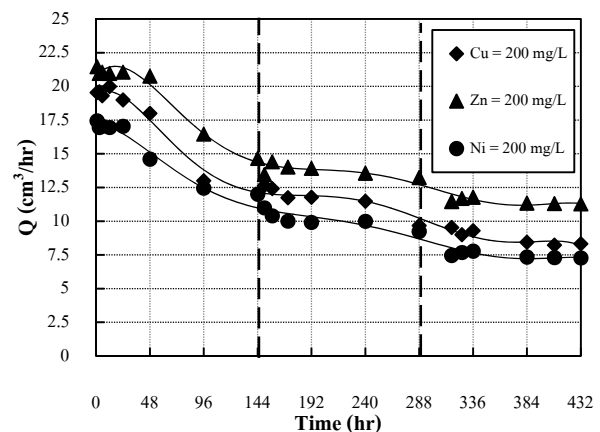
จากการทดสอบแบบคอลัมน์สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้น 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรกับเวลา พบว่าช่วงระยะเวลาแรกของการเติมสารละลายโลหะหนักอัตราการไหลจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว พอเข้าสู่ช่วงระยะเวลาที่สองของการเติมน้ำ

กลับคือ 144 – 288 ชั่วโมง อัตราการไหลยังคงมีค่าลดลงแต่เปลี่ยนแปลงน้อยมาก และช่วงระยะเวลาที่สามคือ 288 – 432 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการปล่อยสารละลายโลหะหนักซ้ำ พบว่าอัตราการไหลยังมีค่าลดลงอยู่ แต่อัตราการไหลลดลงเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่าสารละลายโลหะหนักที่ถูกดูดซับผิวไปแทนที่ช่องว่างในดิน ทำให้อัตราการไหลลดลง แสดงดังรูปที่ 9 – 10

9 – 10



รูปที่ 9 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเวลาที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

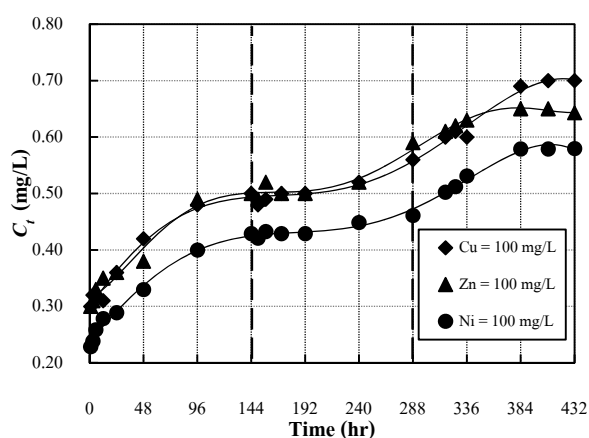


รูปที่ 10 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเวลาที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

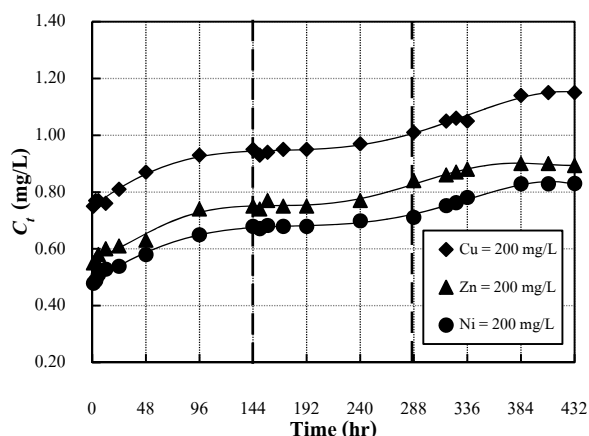
4.2.2 ความเข้มข้นสารละลายโลหะหนักที่วัดได้

จากการทดสอบหาความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่สามารถวัดได้จากการทดสอบแบบคอลัมน์สามารถเขียนกราฟ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้น 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรกับเวลา พบว่า ช่วงระยะเวลาแรกในการเติมสารละลายโลหะหนักการดูดซับ สารละลายโลหะหนักมีค่าเพิ่มขึ้นมาก พอเข้าสู่ช่วงระยะเวลาที่ สองคือ 144 – 288 ชั่วโมง การดูดซับยังมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงระยะเวลาที่สามของ การทดสอบ การดูดซับสารละลายโลหะหนักมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าดินยังมีความสามารถในการดูดซับสารละลายโลหะ หนักได้อีก ดังแสดงในรูปที่ 11 – 12



รูปที่ 11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่วัด ได้ (C_t) กับเวลา ณ ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 mg/L



รูปที่ 12 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่วัด ได้ (C_t) กับเวลา ณ ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 mg/L

5. สรุปผลการทดสอบ

การศึกษาการดูดซับโลหะหนักในดินที่เก็บจากอำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร ในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบแบบซ้ำเพื่อศึกษา ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักในดิน และการทดสอบ แบบคอลัมน์เพื่อจำลองการดูดซับโลหะหนักในชั้นดินที่ สภาวะต่างๆ ซึ่งจากผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ความสามารถในการดูดซับสารละลายทองแดง สังกะสีและนิเกิล โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ สารละลาย (C) กับเวลาการดูดซับ (Time) พบว่าความเข้มข้น ของสารละลายทองแดง สังกะสี และนิเกิล ลักษณะของกราฟมี แนวโน้มที่จะมีค่าลดลงกับเวลา การดูดซับของสารละลาย โลหะหนักทั้ง 3 ชนิด เข้าสู่สมดุลในช่วงระยะเวลา 36 – 48 ชั่วโมง เพราะกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง

2. จากการทดสอบแบบซ้ำทำให้ทราบได้ว่า ดินที่เก็บ จากอำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร มีลักษณะพื้นที่ผิวขรุขระ มาก มีความพรุนสูง ทำให้มีพื้นที่การทำให้ปฏิกิริยามากจึงทำให้ สารละลายโลหะหนักหนักสามารถเกาะติดผิวได้

3. จากการทดสอบแบบคอลัมน์อัตราการไหลซึมผ่าน สารละลายโลหะหนักของดินอำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร ที่ ช่วงเวลาแรกของการเติมสารละลายโลหะหนักมีอัตราการไหล ลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะสารละลายโลหะหนักยังไม่กระจาย ทั่วถึงแห่งตัวอย่างทดสอบ แต่เมื่อสารละลายกระจายทั่ว ตัวอย่างทดสอบอัตราการไหลยังคงลดลงอยู่ แต่จะมีค่า เปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงว่าสารละลายโลหะหนักที่ถูกดูด ติดผิวไปแทนที่ช่องว่างในดิน ทำให้อัตราการไหลลดลง

4. ความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้จากการทดสอบ แบบคอลัมน์ในช่วงระยะเวลาแรกของการเติมสารละลาย โลหะหนักการดูดซับสารละลายโลหะหนักมีค่าเพิ่มขึ้นอย่าง รวดเร็ว พอเริ่มเข้าสู่ช่วงระยะเวลาที่สองคือการเติมน้ำกลั่น ความเข้มข้นของสารละลายยังมีค่าเพิ่มขึ้นแต่เปลี่ยนแปลงน้อย มาก เมื่อเข้าสู่ช่วงระยะเวลาที่สามคือการเติมสารละลายโลหะ หนัก ดินอำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร ยังมีความสามารถในการ ดูดซับสารละลายโลหะหนักได้เพิ่มขึ้นอีก แสดงว่าน้ำกลั่น มีส่วนช่วยในการชะล้างสารละลายโลหะหนัก เปรียบเสมือน ว่าการเกิดฝนตกมีส่วนช่วยในการชะล้างโลหะหนักที่ติดผิวดิน ทำให้โลหะหนักหลุดลอกออกจากผิวดินได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย ศูนย์เครือข่ายมหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครู อาจารย์ ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Alloway, B.J., "Heavy metal in soil", Blackie academic and professional, 2nd Ed, 1995.
- [2] Kerdchaiyaphum, L. and Punrattanasin, P., "The Effect of Salt Content in Soil on the Sorption Capacity of Heavy Metals", First International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, 2011, pp. 233 – 238.
- [3] เกรียงศักดิ์ จินด้าง และสุกเกียรติ ศรีพนมรณกร, "การดูดซับและการกระจายตัวของสังกะสี ทองแดง และนิกเกิล ในดินจากแถบภาคกลางของประเทศไทย", การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 5, 2549. หน้า 1 – 9.
- [4] เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, "ของเสียอันตราย", ภาควิชาสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2553.
- [5] ณรงค์เดช มหาศิริกุล, "การศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดปริมาณสารปนเปื้อนในดินที่พบในจังหวัดขอนแก่น", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2553.
- [6] ธนิต เกลิมยานนท์, "เทคนิคของของเสีย", ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2550.
- [7] เลิศ เกิดชัยภูมิ และพงศกร พรณรัตน์ศิลป์, "อิทธิพลของปริมาณดินเหนียวต่อการดูดซับโลหะหนัก", วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 22 ฉบับที่ 2, 2554 หน้า 1 – 7.