

ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแป้ง

The Adsorption Capacity of Heavy Metals by Clay and Silty Sand

นพปดล เสงี่ยมศักดิ์¹ และ พงศกร พรรณรัตน์ศิลป์^{2,3}

Noppadol Sangiumsak and Pongsakorn Punrattanasin

¹นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย ศูนย์เครือข่ายมหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail: g_noppadol@hotmail.com¹, ponpun@kku.ac.th²

บทคัดย่อ

นิกเกิล เป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ พบได้ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน บทความนี้ศึกษาการดูดซับนิกเกิลของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแป้งที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย การทดสอบใช้วิธีแบบกะโดยมีการหาระยะเวลาดูดซับสมดุล ไอโซเทอมการดูดซับ ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ และผลกระทบของวัสดุที่นำมาผสมกับดิน ได้แก่ ปูนขาวและเถ้าแกลบ จากการศึกษาพบว่า การดูดซับนิกเกิลของดินทั้งสองชนิดเข้าสู่สภาวะสมดุลภายในเวลา 1 ชั่วโมง โดยแบบจำลองของฟรอนด์ลิชสามารถอธิบายการดูดซับได้ดีกว่าแบบจำลองแลงเมียร์ของแลงเมียร์เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับนิกเกิลของดินทั้งสองชนิดพบว่า ดินเหนียวมีความสามารถในการดูดซับนิกเกิลได้ดีกว่าดินทรายปนทรายแป้ง การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น และการนำปูนขาวหรือเถ้าแกลบผสมมาผสมกับดินช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับนิกเกิลได้

คำสำคัญ: การดูดซับ, โลหะหนัก, นิกเกิล, ไอโซเทอม

Abstract

Nickel is a common heavy metal that is harmful to human and animals. It contaminates in waste water which is discharged from industries and communities. This article

studies the adsorption of nickel by clay and silty sand which found in the northeastern part of Thailand. Batch test was used to investigate the equilibrium time, adsorption isotherm, temperature effect and the influence of the additional materials (lime and rice husk ash). The results were found that the adsorption of Nickel by clay and silty sand reaches the equilibrium condition within 1 hour. The adsorption capacity of clay was better than the adsorption capacity of silty sand. The sorption behavior can well be described by Freundlich Model. Temperature also plays an important role in the sorption capacity. In this study, mixing soil with lime and rice husk ash can increase the ability of nickel in an adsorption phenomena.

Keywords: Adsorption, Heavy Metals, Nickel, Isotherm

1. บทนำ

การเจริญทางด้านอุตสาหกรรมและการขยายตัวของชุมชนอย่างรวดเร็วในปัจจุบันส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษในรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาน้ำเสียซึ่งเกิดจากการระบายน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือจากบ้านเรือนออกสู่ภายนอกโดยไม่ผ่านการบำบัด นิกเกิลเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีการใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง เช่น เป็นส่วนผสมในการผลิตถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ เหมืองยูเรเนียม อัลลอยด์ เครื่องยนต์ เป็นต้น จึงสามารถพบนิกเกิลปนเปื้อน

อยู่ในน้ำเสียโดยทั่วไปได้ นิกเกิลเป็นสารที่มีความคงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้เองตามธรรมชาติทำให้เกิดการสะสมอยู่ในดินและน้ำเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะก่อให้เกิดโรคหรืออาการต่างๆ เช่น โรคผิวหนัง หอบหืด คลื่นเหียนอาเจียน ไอ และเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง [1] เป็นต้น

โดยทั่วไป น้ำเสียจะถูกปล่อยลงสู่พื้นดินและไหลซึมผ่านชั้นดินลงไปยังน้ำใต้ดิน หรือไหลไปตามผิวดินลงสู่แม่น้ำลำคลอง ทำให้น้ำใต้ดินและน้ำผิวดินมีการปนเปื้อนของสารอันตราย ไม่เหมาะแก่การอุปโภคบริโภค จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ดินมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักชนิดต่างๆ รวมทั้งนิกเกิลได้ [2-3] ดังนั้นเมื่อน้ำเสียซึมผ่านชั้นดินหรือไหลไปตามผิวดิน นิกเกิลที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจะถูกกำจัดหรือมีความเข้มข้นลดลงโดยการดูดซับของดิน ก่อนที่จะไหลไปยังแหล่งน้ำต่างๆ จึงกล่าวได้ว่า ดินเป็นวัสดุธรรมชาติที่ช่วยบำบัดน้ำเสียได้ในเบื้องต้น

งานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมในการดูดซับนิกเกิลของดิน 2 ชนิด ที่เก็บจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน โดยศึกษาระยะเวลาการดูดซับสมดุล ไอโซเทอมการดูดซับ ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ และผลกระทบของการใช้วัสดุอื่นๆ มาผสมกับดิน โดยใช้วิธีการทดสอบแบบกะทั้งนี้ เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมในการดูดซับนิกเกิลของดินแต่ละชนิด อันเป็นแนวทางในการจัดการกับน้ำเสียที่ปนเปื้อนนิกเกิลต่อไป

2. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

2.1 ตัวดูดซับ (Adsorbent)

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการดูดซับของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน โดยเลือกจังหวัดที่มีขนาดใหญ่ คือ จังหวัดอุดรธานี ซึ่งมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมีโรงงานอุตสาหกรรมกระจายอยู่เป็นจำนวนมาก ตัวอย่างดินที่นำมาศึกษาประกอบด้วยดิน 2 ชนิด คือ ตัวอย่างดินจากอำเภอกุมภวาปีและอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี โดยเก็บที่ความลึก 20-50 เซนติเมตร จากผิวดิน ดังแสดงในรูปที่ 1 ตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างดินจะเลือกบริเวณที่อยู่ใกล้กับชุมชนหรือแหล่งน้ำซึ่งดินมีโอกาสสูงในการรองรับน้ำเสียนำตัวอย่างดินมาอบให้

แห้งแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เมื่อจำแนกชนิดของดินตามระบบ Unified Soil Classification (USCS) พบว่าเป็นดินเหนียว (CL) และดินทรายปนทรายแป้ง (SM) ตามลำดับ ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของตัวอย่างดินทั้งสองชนิด



รูปที่ 1 การเก็บตัวอย่างดิน

2.2 สารละลายนิกเกิล

นิกเกิลที่ใช้เป็นตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ในงานวิจัยนี้อยู่ในรูปของสารละลาย ทำได้โดยนำสารละลายนิกเกิลไนเตรท (Nickel Nitrate ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$) มาเจือจางในน้ำกลั่น จนมีความเข้มข้นตามที่ต้องการ คือ 50, 100, 250 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) คุณสมบัติของนิกเกิลไนเตรทแสดงดังตารางที่ 2

2.3 วัสดุผสมเพิ่ม

เนื่องจากดินมีอยู่หลายชนิด บางชนิดอาจมีความสามารถในการดูดซับต่ำ ทำให้สารอันตรายที่ปนเปื้อนในน้ำเสียไหลซึมผ่านดินไปได้เป็นจำนวนมากจนถึงชั้นน้ำใต้ดินหรือแหล่งน้ำผิวดิน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงได้มีการนำวัสดุอื่นๆ มาผสมกับดิน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงดินให้มีความสามารถในการดูดซับนิกเกิลได้เพิ่มขึ้น โดยเลือกใช้วัสดุ 2 ชนิดได้แก่ ปูนขาวและเถ้าแกลบ ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก และอยู่เป็นจำนวนมาก โดยปูนขาวหรือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) หาซื้อจากร้านขายวัสดุก่อสร้าง ส่วนเถ้าแกลบนำมาจากโรงไฟฟ้าร้อยเอ็ดกรีน จังหวัดร้อยเอ็ด การเตรียมวัสดุทั้งสองชนิดมีเพียงการอบให้แห้งเท่านั้น

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานของดิน

คุณสมบัติพื้นฐาน	ตัวอย่างดิน	
	กุ่มกาวปี	เมือง
ประเภทของดินตามระบบ USCS	CL	SM
ความถ่วงจำเพาะ	2.64	2.6
หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)	1.57	1.83
พิกัดเหลว (ร้อยละ)	46.5	10.6
พิกัดพลาสติก (ร้อยละ)	15.8	14.4
ดัชนีพลาสติก (ร้อยละ)	35.9	1.4
ความชื้นที่เหมาะสม (ร้อยละ)	19.8	12.7

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของนิเกิลไนเตรท

สูตรทางเคมี	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$
มวลโมเลกุล (g/mol)	290.8
ความหนาแน่น (g/cm^3)	2.05
ความสามารถในการละลายน้ำ (g/100ml)	94.2

3. วิธีการศึกษา

การศึกษาการดูดซับนิเกิลของดินในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบแบบกะ (Batch Test) โดยนำดินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ปริมาณ 2.5 กรัม ใส่ลงในขวดพลาสติก แล้วเติมสารละลายนิเกิลปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้น นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบประมาณ 130 รอบต่อนาที จนถึงระยะเวลาที่กำหนด จึงนำออกจากเครื่องเขย่าแล้วกรองดินออกจากสารละลายโดยใช้ตัวกรอง (Filter) จากนั้น เจือจางส่วนผสมที่กรองแล้วด้วยกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 1 แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ในการทดสอบโดยวิธีแบบกะ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การหาระยะเวลาดูดซับสมดุลและไอโซเทอมการดูดซับ

ในการหาระยะเวลาดูดซับสมดุลและไอโซเทอมการดูดซับจะใช้ระยะเวลาในการดูดซับ 1, 3, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง และใช้ความเข้มข้นของสารละลายนิเกิลเท่ากับ 50 ,100, 250

และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยระยะเวลาดูดซับสมดุล (Equilibrium Time) เป็นระยะเวลาที่การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุล คือ ความเข้มข้นของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นสภาวะที่อัตราการดูดซับ (Adsorption) มีค่าเท่ากับอัตราการคายการดูดซับ (Desorption) สำหรับไอโซเทอมการดูดซับนั้นเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล กับปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ โดยปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับคำนวณได้ดังนี้

$$q = \frac{(C_o - C_{eq})V_{sol}}{M_s} \quad (1)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อปริมาณดินที่ใช้ดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม) C_o, C_{eq} คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นและความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร) ตามลำดับ V_{sol} คือ ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ (ลิตร) และ M_s คือ มวลของดินที่ใช้ดูดซับ (กรัม)

เมื่อหาค่า q แล้ว จะทำการสร้างแบบจำลองการดูดซับซึ่งโดยทั่วไปมี 2 แบบจำลองที่นิยมใช้คือ แบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm) และแบบจำลองการดูดซับของฟรอนด์ลิช (Freundlich adsorption isotherm)

แบบจำลองของแลงเมียร์มีสมการในรูปเส้นตรงดังนี้

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

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

สำหรับแบบจำลองของฟรอนด์ลิชมีรูปแบบของสมการดังนี้

$$q = k(C_{eq})^{1/n} \quad (3)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ซึ่งสัมพันธ์กับการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม) n คือ ค่าคงที่ซึ่งสัมพันธ์กับพลังงานการดูดซับ

3.2 การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ

เนื่องจากประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอยู่ตลอดเวลา โดยในวันหนึ่งๆ อุณหภูมิในตอนกลางวันกับตอนกลางคืนอาจมีความแตกต่างกันเป็นอย่างมาก ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับนิกเกิล โดยทำการทดสอบกับดิน CL ในช่วงอุณหภูมิ 30-50 องศาเซลเซียส เริ่มต้น จะศึกษาการดูดซับที่ระยะเวลาต่างๆ โดยนำดิน 2.5 กรัม ผสมกับสารละลายโลหะนิกเกิล 50 มิลลิกรัม ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 2 เป็นระยะเวลา 1, 3, 6, 24 และ 48 ชั่วโมง หลังจากศึกษาการดูดซับที่ระยะเวลาต่างๆ แล้ว จะหาไอโซเทอมการดูดซับของแต่ละอุณหภูมิ โดยนำดิน 2.5 กรัม ผสมกับสารละลายโลหะนิกเกิล ความเข้มข้น 50, 100, 250 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิตรแล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว



รูปที่ 2 การควบคุมอุณหภูมิการดูดซับ

3.3 การศึกษาผลกระทบของวัสดุผสมเพิ่ม

การศึกษผลกระทบของวัสดุผสมเพิ่มมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงการดูดซับนิกเกิลของดิน โดยเลือกดิน SM ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับต่ำมาผสมกับวัสดุ 2 ชนิด ได้แก่ปูนขาวและเถ้าแกลบ โดยนำมาผสมแทนที่ดินในอัตราส่วนร้อยละ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่ใช้เท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้ระยะเวลาในการดูดซับ 48 ชั่วโมง

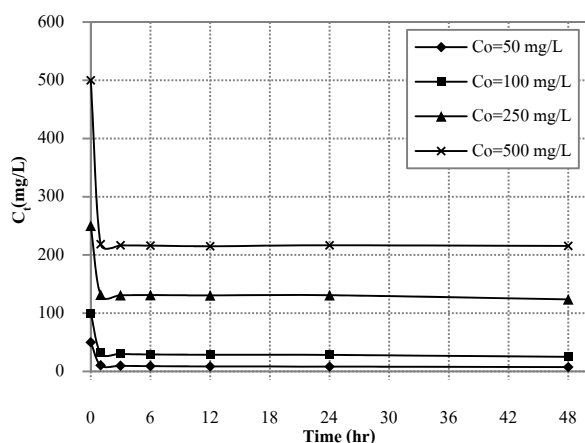
4. ผลการทดสอบ

4.1 ระยะเวลาดูดซับสมดุลและไอโซเทอมการดูดซับ

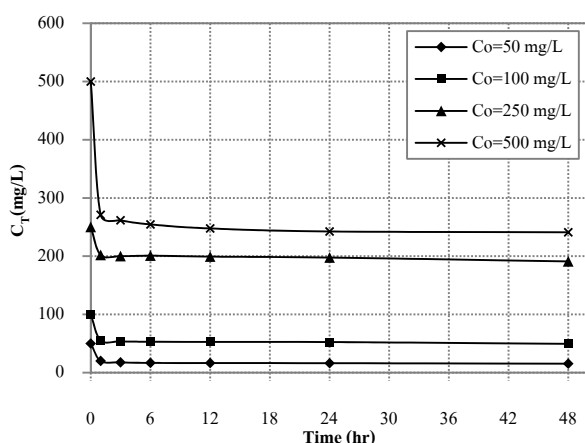
ผลการดูดซับสารละลายนิกเกิลของดิน CL และ SM แสดงดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่เวลาต่างๆ (C_t) โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) เท่ากับ 50, 100, 250 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากรูปจะเห็นว่า ดินทั้งสองชนิดมีพฤติกรรมในการดูดซับนิกเกิลที่คล้ายกัน คือ ความเข้มข้นของสารละลายจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงชั่วโมงแรก และหลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ จนค่อนข้างคงที่ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลภายในหนึ่งชั่วโมง จากการเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ พบว่า เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณการดูดซับจะมีค่าเพิ่มขึ้น รูปที่ 5 แสดงไอโซเทอมการดูดซับนิกเกิลของดินทั้งสองชนิด ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (C_{eq}) กับปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ (q) จากไอโซเทอมการดูดซับสามารถอธิบายพฤติกรรมดูดซับได้ว่า เมื่อสารละลายนิกเกิลมีความเข้มข้นสูงขึ้น ปริมาณการดูดซับจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยดิน CL จะดูดซับนิกเกิลได้มากกว่าดิน SM ไอโซเทอมของดินทั้งสองชนิดนี้มีความชันมากในช่วงแรกและลดลงเรื่อยๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แสดงว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณการดูดซับต่อการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลายมีอัตราที่ลดลง นั่นคือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายขึ้นจนถึงจุดๆ หนึ่ง ดินจะไม่สามารถดูดซับโลหะหนักเพิ่มขึ้นได้อีกซึ่งเป็นขีดจำกัดในการดูดซับหรือความสามารถในการดูดซับ

หลังจากได้ไอโซเทอมการดูดซับแล้ว จะทำการสร้างแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์และแบบจำลองการดูดซับของฟรุนด์ลิชแบบจำลองของแลงเมียร์ทำได้โดยการปรับค่าแกนตั้งของกราฟไอโซเทอมในรูปที่ 5 ให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นที่สมดุล ต่อปริมาณการดูดซับ (C_{eq}/q) จะทำให้ได้กราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 6 ซึ่งสามารถหาปริมาณการดูดซับนิกเกิลสูงสุด (β) ได้จาก $\beta = 1/\text{slope}$ และหาค่าคงที่การดูดซับของแลงเมียร์ (α) ได้

จาก $\alpha = 1/(c\beta)$ เมื่อ c คือระยะตัดแกนตั้ง ซึ่งจะได้ค่า β ของดิน CL และ SM เท่ากับ 6.57 และ 5.23 มิลลิกรัมต่อกรัม (หมายความว่า ดิน CL และ SM สามารถดูดซับนิกเกิลได้ สูงสุด 6.57 และ 5.23 มิลลิกรัม ต่อน้ำหนักดิน 1 กรัม ตามลำดับ)



รูปที่ 3 การดูดซับนิกเกิลของดิน CL ที่ระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 4 การดูดซับนิกเกิลของดิน SM ที่ระยะเวลาต่างๆ

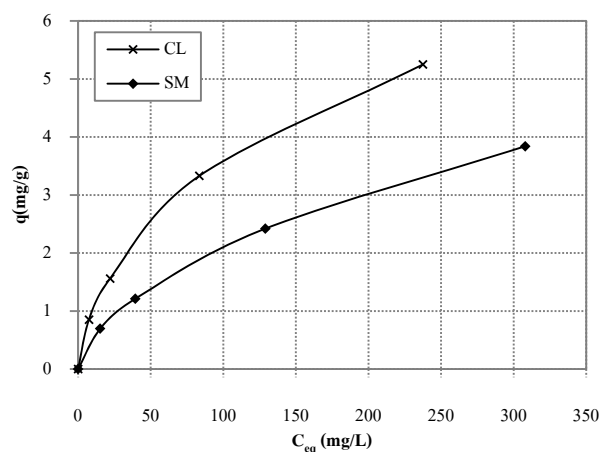
สำหรับแบบจำลองของฟรอนต์ลิชทำได้โดย ปรับรูปสมการที่ (3) ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงโดยการใส่ลอการิทึม (Logarithm) เข้าไปทั้งสองข้าง จะได้สมการเชิงเส้นตรงในสเกลลอการิทึม (Log Scale) ดังนี้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C_{eq} \quad (3)$$

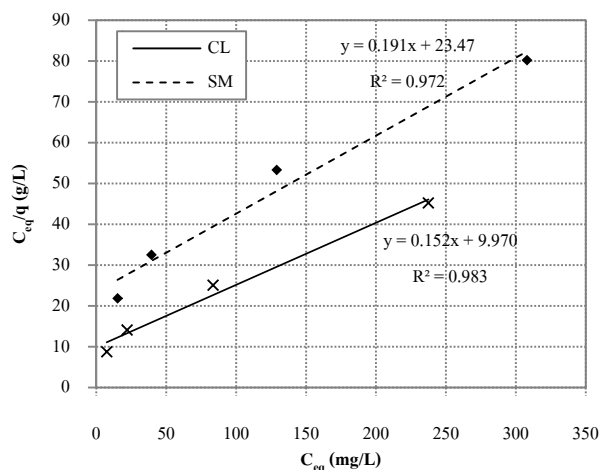
จากนั้น สร้างกราฟระหว่างค่า C_{eq} กับ q ในสเกลลอการิทึม จะได้แบบจำลองของฟรอนต์ลิชดังรูปที่ 7 โดยความชันของกราฟมีค่าเท่ากับ $1/n$ ส่วนระยะตัดแกนตั้งจะเท่ากับ $\log K$

จากการเปรียบเทียบค่า R-square (R^2) ของแบบจำลองทั้งสองดังตารางที่ 3 แล้วพบว่า แบบจำลองของฟรอนต์ลิชมีค่า R^2 มากกว่าแบบจำลองของแลงเมียร์ (ตารางที่ 3) ดังนั้นแบบจำลองของฟรอนต์ลิช จึงสามารถอธิบายพฤติกรรมของการดูดซับได้ดีกว่าแบบจำลองของแลงเมียร์ ซึ่งแสดงว่า อนุภาคของนิกเกิลหรือตัวถูกดูดซับ จะเกาะอยู่บนผิวของดินหรือตัวดูดซับได้มากกว่า 1 ชั้น อย่างไรก็ตาม แบบจำลองของแลงเมียร์ก็ยังมีค่า R^2 อยู่ในระดับที่สูง ดังนั้น จึงสามารถใช้อธิบายการดูดซับได้ดีเช่นกัน

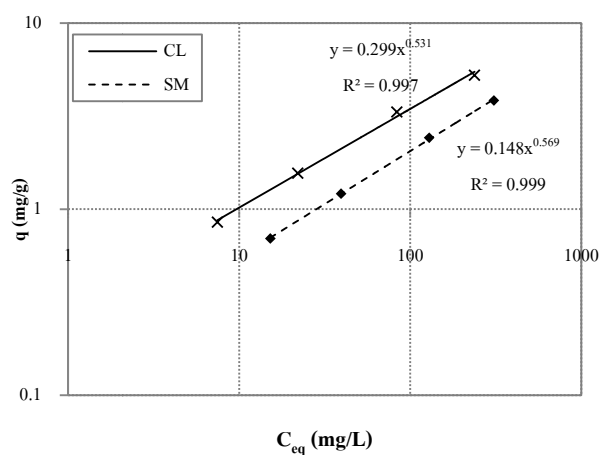
ตารางที่ 3 สรุปค่าพารามิเตอร์ของแลงเมียร์ของดินทั้งสองชนิดจะเห็นได้ว่า ดินเหนียวมีความสามารถในการดูดซับนิกเกิลได้ดีกว่าดินทรายปนทรายแป้ง ทั้งนี้ เนื่องจากการดูดซับจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของตัวดูดซับ ทั้งผิวภายนอกและผิวภายในโพรง ดังนั้น ตัวดูดซับที่มีความละเอียดและมีความพรุนมาก จะมีความสามารถในการดูดซับที่ดี ซึ่งเมื่อพิจารณาภาพขยายของเม็ดดิน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ดังรูปที่ 8 และ 9 แล้วจะเห็นว่าดิน CL มีความเป็นเหลี่ยมมุมมากกว่าดิน SM จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับได้มากกว่า



รูปที่ 5 ไอโซเทอมการดูดซับนิกเกิลของดิน CL และ SM



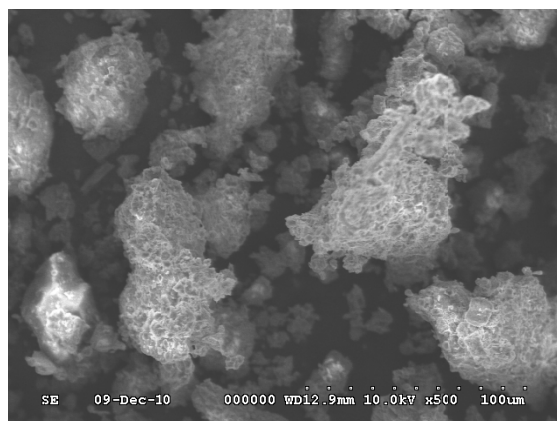
รูปที่ 6 แบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์



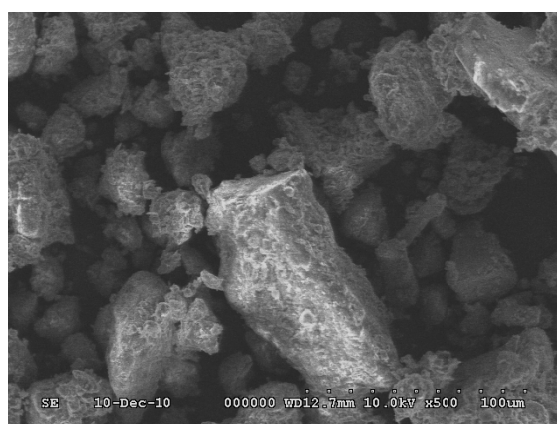
รูปที่ 7 แบบจำลองการดูดซับของฟรอนด์ลิช

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ของแบบจำลองการดูดซับ

ดิน	พารามิเตอร์ของแบบจำลอง				R ²	
	แลงเมียร์		ฟรอนด์ลิช			
	α (L/mg)	β (mg/g)	K (L/g)	n	แลง เมียร์	ฟรอนด์ ลิช
CL	0.0153	6.57	0.2995	1.882	0.9838	0.9971
SM	0.0081	5.23	0.1488	1.755	0.9727	0.9996



รูปที่ 8 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของดิน CL

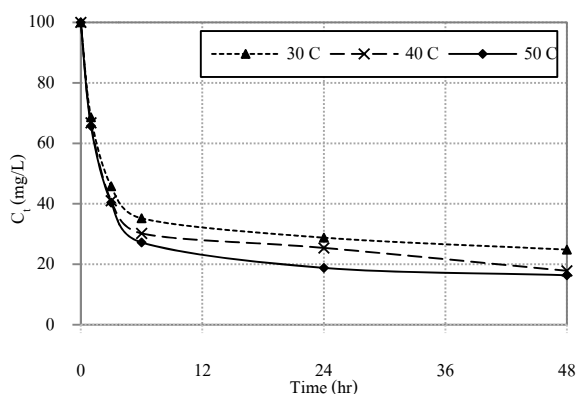


รูปที่ 9 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของดิน SM

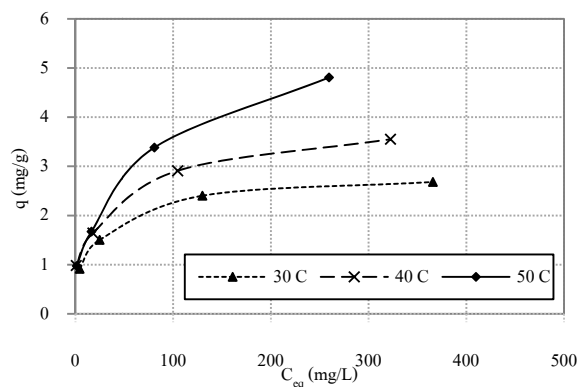
4.2 ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกับระยะเวลาการดูดซับที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังรูปที่ 10 ซึ่งจะเห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายในทุกอุณหภูมิมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 6 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ โดยที่เวลาใดๆ ความเข้มข้นของสารละลายจะมีค่าต่ำสุดและสูงสุดที่อุณหภูมิ 30 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิรูปที่ 11 แสดงไอโซเทอมการดูดซับในแต่ละอุณหภูมิ ซึ่งเห็นได้ว่าในทุกอุณหภูมิ ปริมาณการดูดซับ (q) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น แต่อัตราการเพิ่มมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นสูงๆ จะเห็นว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณการดูดซับจะเริ่มคงที่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาณ

การดูดซับยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นได้อีก เมื่อสร้างแบบจำลองของแลงเมียร์ (ซึ่งสามารถใช้หาค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด (β) ได้) จะได้พารามิเตอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังตารางที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณการดูดซับสูงสุด มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาณการดูดซับสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 18



รูปที่ 10 ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่เวลาต่างๆ



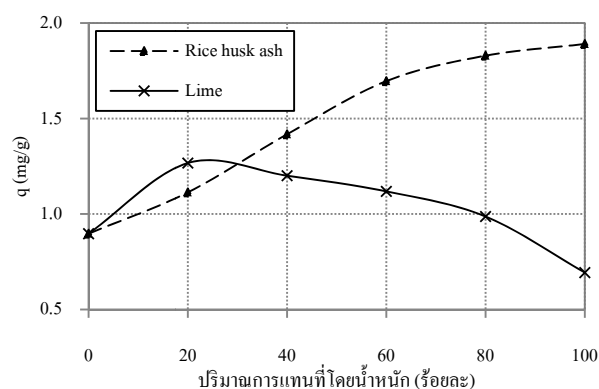
รูปที่ 11 ไอโซเทอมการดูดซับนิกเกิลที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ของแลงเมียร์ที่อุณหภูมิต่างๆ

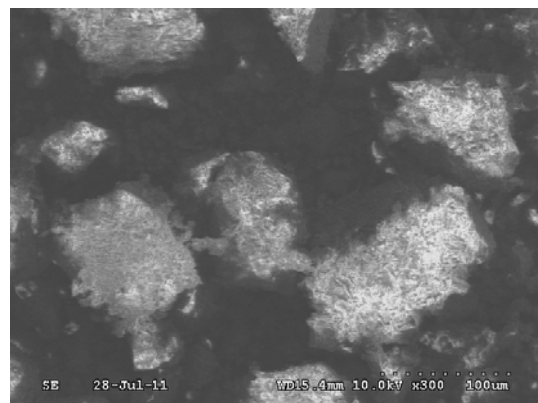
อุณหภูมิ (°C)	พารามิเตอร์ของแลงเมียร์		R ²
	α (L/mg)	β (mg/g)	
30	3.81	0.0944	0.9987
40	4.12	0.0707	0.9942
50	4.52	0.0541	0.9812

4.3 ผลกระทบของวัสดุผสมเพิ่ม

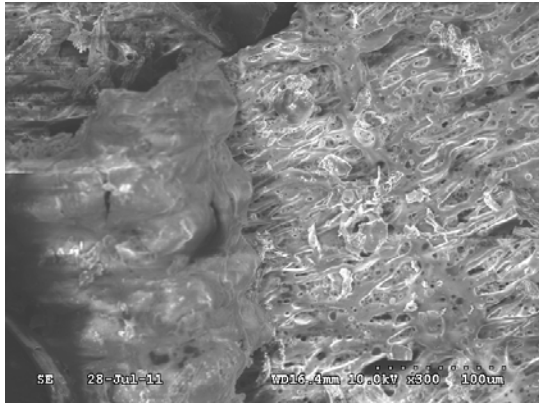
ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 12 ซึ่งจะเห็นว่า ในการผสมปูนขาว การดูดซับจะสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณปูนขาวแทนที่ดินร้อยละ 20 โดยสามารถทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นได้ถึงร้อยละ 41 (เปรียบเทียบกับกรณีไม่ผสมปูนขาว) สำหรับการใส่เถ้าแกลบผสมกับดินนั้น พบว่า การดูดซับนิกเกิลจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณเถ้าแกลบ โดยสามารถเพิ่มปริมาณการดูดซับได้มากกว่าการใช้ปูนขาว ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาภาพขยาย SEM ของปูนขาวและเถ้าแกลบดังรูปที่ 13 และ 14 ตามลำดับจะเห็นว่า เถ้าแกลบมีความพรุนมากกว่าปูนขาวเป็นอย่างมาก ดังนั้น จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับนิกเกิลได้มากกว่า ปริมาณที่แนะนำในการใช้ปูนขาวและเถ้าแกลบคือ ร้อยละ 20 และร้อยละ 40 – 60 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ



รูปที่ 12 ปริมาณการดูดซับนิกเกิลเมื่อใช้วัสดุผสมเพิ่มในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 13 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 300 เท่า ของปูนขาว



รูปที่14 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 300 เท่า ของถ้ำเกลือ

5. สรุป

จากการทดสอบความสามารถในการดูดซับนิกเกิล ของดินเหนียว (CL) และดินทรายปนทรายแป้ง (SM) ที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยซึ่งประกอบด้วย การหาระยะเวลาดูดซับสมดุล ไอโซเทอมการดูดซับ ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับ และผลกระทบของวัสดุที่นำมาผสมกับดิน ได้แก่ ปูนขาวและถ้ำเกลือ พบว่า การดูดซับนิกเกิลของดินทั้งสองเข้าสู่ภาวะสมดุลภายใน 1 ชั่วโมง พฤติกรรมในการดูดซับ สามารถใช้ทั้งแบบจำลองของแลงเมียร์และแบบจำลองของฟรุนด์ลิชในการอธิบายได้ โดยแบบจำลองของฟรุนด์ลิช สามารถอธิบายได้ดีกว่าแบบจำลองของแลงเมียร์ ปริมาณการดูดซับนิกเกิลสูงสุดของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแป้งเท่ากับ 6.57 และ 5.23 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับการเพิ่มอุณหภูมิจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับได้ โดยปริมาณการดูดซับสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 18 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส จากการใช้วัสดุผสมเพิ่มพบว่า ทั้งปูนขาวและถ้ำเกลือ สามารถเพิ่มการดูดซับนิกเกิลของดินได้ โดยถ้ำเกลือจะสามารถเพิ่มการดูดซับได้มากกว่าปูนขาว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และคุณวิมลพร เอี่ยมอมรพันธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kurniawan, T.A., Chan, G.Y.S., Lo, W.H., Babel, S. 2006. "Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals", *Chemical Engineering Journal*. Vol.118, pp. 83-98
- [2] นันทนิตย์ เจริญโรสง, ธนิต เถลิงยานนท์, สุเมธ ไชยประพัทธ์ และ ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์, "สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านและการดูดติดผิวของทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียวสงขลา".วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ปีที่ 20 ฉบับที่ 3 หน้า 139-146
- [3] นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์ และ พงศกร พรธรรมรัตน์, 2554. "การดูดซับโลหะหนักของดินลมหอบสีแดง". วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 หน้า 1-8