

การเพิ่มความสามารถในการดูดซับนิกเกิลของดินเหนียวเบนโทไนท์ผสมกับวัสดุปอซโซลาน

Enhancing Adsorption Ability of Nikkel on Bentonite Clay

Mixed with Pozzolanic Materials

ภาณุภัทร พงษ์พิษณุ (Phanuphat Phongphisanu)^{1*} ดร.พงศกร พรณรัตน์ศิลป์ (Dr.Pongsakorn Punrattanasin)**

(Received: November 22, 2022; Revised: March 22, 2023; Accepted: March 23, 2023)

บทคัดย่อ

เบนโทไนท์เป็นดินเหนียวชนิดหนึ่งที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ในอดีตมีงานวิจัยบำบัดโลหะหนักด้วยเบนโทไนท์เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับด้วยการผสมปอซโซลาน พบว่าปอซโซลานบางชนิดสามารถเพิ่มหรือลดความสามารถในการดูดซับของเบนโทไนท์ในการดูดซับโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงได้ การศึกษาครั้งนี้เป็นการเพิ่มศักยภาพให้กับปอซโซลานด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) เพื่อให้เบนโทไนท์ผสมปอซโซลานดูดซับได้สูงขึ้น การทดสอบนี้ใช้โซเดียมเบนโทไนท์ดูดซับนิกเกิล (Ni) ความเข้มข้น 30,000 40,000 และ 50,000 มก./ล. ทดสอบด้วยการผสมกับซีเมนต์และปอซโซลาน 5 ชนิด ได้แก่ ตะกรันเหล็ก เถ้าแกลบ เถ้าลอย ซิลิกาฟุ้ง และดินขาวเผา โดยเพิ่มน้ำหนักของตัวดูดซับเพื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นและเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของเบนโทไนท์ผสมปอซโซลานเมื่อมีและไม่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ การทดสอบใช้วิธีการทดสอบแบบกะ ผลที่ได้อธิบายความสามารถที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับน้ำหนักของตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเบนโทไนท์ผสมปอซโซลาน 5 ชนิด เพิ่มความสามารถการดูดซับด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสามารถดูดซับได้สูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 58.6, 73.5, 56.1, 72.4, และ 70.7 ตามลำดับ เพื่อเป็นทางเลือกในการดูดซับด้วยวัสดุธรรมชาติและวัสดุเหลือใช้

ABSTRACT

Bentonite is a type of clay with a large surface area. In the past, there was research on heavy metal treatment with bentonite to increase adsorption efficiency by mixing pozzolanic. Some pozzolanic cannot enhance bentonite's ability to adsorb high concentrations of heavy metals. This study was conducted to increase the potential of pozzolanic with calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) for higher adsorption by bentonite mixed with pozzolanic. This test uses sodium bentonite to adsorb nickel (Ni) concentrations of 30,000, 40,000, and 50,000 mg/L. Tested by mixing 5 types of pozzolanic and cement by increasing the adsorbent weight to study the increase and compare the adsorption capacity of bentonite mixed with pozzolanic with and without ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). The test uses the batch test method. The results explained the increased capacity of the increased adsorbent weight and when bentonite is mixed with slag, rice husk ash, fly ash, silica fume, and kaolin, it increases adsorption capacity with calcium hydroxide. It was found that the adsorption was higher for 58.6, 73.5, 56.1, 72.4, and 70.7 percent, respectively, as an alternative to adsorbent natural materials and waste materials.

คำสำคัญ: เบนโทไนท์ การดูดซับ นิกเกิล

Keywords: Bentonite, Adsorption, Nickel

¹Corresponding author: phanuphatp@kkumail.com

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Student, Master of Engineering Program in Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

บทนำ

รายงานกรมควบคุมมลพิษของไทยปี 2020 คุณภาพแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลงส่วนใหญ่บนเขื่อนโลหะหนัก [1] เกิดจากการลักลอบปล่อยของเสียออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งโลหะหนักไม่ย่อยสลายเองตามธรรมชาติ มลพิษจากโลหะหนักมีผลกระทบต่อมนุษย์ [2] การกำจัดนั้นมีหลายวิธีซึ่งมีค่าใช้จ่ายแตกต่างกัน วิธีที่ได้รับความนิยมมีราคาที่ไม่สูงและมีประสิทธิภาพคือ การใช้วัสดุดูดซับ ดินเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและพบได้ในชีวิตประจำวัน การนำดินมาดูดซับนับว่าเป็นทางเลือกที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากดินนั้นมีประจุลบซึ่งสามารถดูดซับประจุบวกของโลหะหนักได้ดี โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของดิน คือ ชนิดของดิน สารพิษหรือโลหะหนักที่ดูดซับ และวัสดุผสมเพิ่ม เช่น วัสดุพอลิโซลัน ปูนซีเมนต์ เป็นต้น ในอดีตน้ำเถ้าลอยในปริมาณที่แตกต่างกันซึ่งใช้ปริมาณเถ้าลอยในการดูดซับมากที่สุด 0.8 กรัม ศึกษาการดูดซับโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำชะขยะมูลฝอย พบว่าเถ้าลอยสามารถดูดซับโลหะหนักได้ [3] ต่อมาศึกษาการนำดินเหนียวคาโอไลน์ที่กำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย โดยทดสอบโดยวิธีแบบกะ (Batch test) พบว่าสามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียได้ [4] ดินเหนียวนั้นสามารถดูดซับโลหะได้ดีเนื่องจากดินเหนียวมีกลุ่มแร่ดินเหนียว ได้แก่ แร่อิลไลต์ แร่คาโอไลน์ และแร่มอนต์โมริลโลไนท์ ดินเหนียวที่มีแร่มอนต์โมริลโลไนท์เป็นส่วนประกอบหลักจะดูดซับได้ดีกว่าแร่ดินเหนียวอีก 2 ชนิด ซึ่งดินชนิดนี้ คือ เบนโทไนท์ เป็นดินเหนียวที่ใช้ทั่วไปในด้านวิศวกรรม จากนั้นมีการศึกษาโดยการนำเบนโทไนท์มาทำการดูดซับเพื่อกำจัดตะกั่วที่ปนเปื้อนน้ำเสียจากโรงงาน พบว่าเบนโทไนท์สามารถกำจัดตะกั่วได้ดี [5] ต่อมาศึกษาการเพิ่มความสามารถเบนโทไนท์ในการดูดซับโดยวัสดุพอลิโซลันและซีเมนต์ในปริมาณ 2.5 กรัม [6] พบว่าเบนโทไนท์ผสมซีเมนต์มีความสามารถในการดูดซับที่สูงขึ้น เนื่องจากเบนโทไนท์ผสมซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ทำให้สามารถดูดซับประจุบวกของโลหะหนักได้ดี แต่เมื่อเบนโทไนท์ผสมพอลิโซลันมีความสามารถในการดูดซับที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยพอลิโซลันนั้นยังไม่ได้มีการกระตุ้นปฏิกิริยาให้เกิดการดูดซับที่มากขึ้น

ในการศึกษาที่ทดสอบการดูดซับนิกเกิล (Ni) ซึ่งเป็นโลหะที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมโลหะและผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น ปลั๊กไฟ ถ่านชาร์จ์ ทดสอบดูดซับโดยใช้เบนโทไนท์ผสมกับพอลิโซลันโดยเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์กับปริมาณตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้น และศึกษาความสามารถในการดูดซับของเบนโทไนท์ผสมพอลิโซลันเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกับเบนโทไนท์ผสมกับพอลิโซลันเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ซึ่งพบได้ในธรรมชาติ ทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบกะ (Batch test) โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับมากกว่าปกติ ผลการทดสอบสามารถอธิบายความสามารถในการดูดซับเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวดูดซับ และความสามารถในการดูดซับเมื่อเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าไปในตัวดูดซับ ทำให้ตัวดูดซับนั้นมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นหลายเท่า

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับนิกเกิลเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับของเบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์และพอลิโซลัน 5 ชนิด ประกอบด้วย ตะกรันเหล็กบด เถ้าลอย ซิลิกาฟุ้ง ดินขาวเผา และเถ้าแกลบ
2. ศึกษาความสามารถในการดูดซับนิกเกิลของเบนโทไนท์ผสมพอลิโซลัน 5 ชนิด เมื่อมีและไม่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการดูดซับ เปรียบเทียบกับเบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์

เครื่องมือและวิธีการ

ตัวดูดซับ

เบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์ และปอซโซลาน 5 ชนิด ประกอบด้วย ตะกรันเหล็กบด แก้วลอย ซิลิกาฟูม ดินขาวเผา และเถ้าแกลบ ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปทางอุตสาหกรรมมีวัสดุที่ได้จากการเผาวัสดุเหล่านี้เป็นจำนวนมาก คือ วัสดุที่มีสมบัติเป็นสารปอซโซลาน ซึ่งมีองค์ประกอบหลักทางเคมี ได้แก่ ซิลิกาและอะลูมินา นำมาผสมเบนโทไนท์เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับระหว่าง เบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์ เบนโทไนท์ผสมปอซโซลานที่มีและไม่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ วัสดุทั้งหมดแห้งและร่อนผ่านตะแกรงหมายเลข 40 ตัวดูดซับเหล่านี้ทดสอบในปริมาณที่มากกว่าปกติโดยใช้น้ำหนักตัวอย่าง 2.5, 5, 10, 15 และ 20 กรัม เพื่อศึกษาความสัมพันธ์เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ องค์ประกอบของแร่และเคมีของเบนโทไนท์ ปอซโซลานและซีเมนต์แสดงใน (ตารางที่ 1) จากการทดสอบด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence [7]

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของดิน ซีเมนต์ และวัสดุปอซโซลาน

องค์ประกอบ	เบนโทไนท์	ตะกรันเหล็ก	เถ้าแกลบ	แก้วลอย	ซิลิกาฟูม	ดินขาวเผา	ปูนซีเมนต์
	Wt. %	Wt. %	Wt. %	Wt. %	Wt. %	Wt. %	Wt. %
SiO ₂	56.8	40.0	85.8	41.2	92.0	55.0	20.0
Al ₂ O ₃	15.1	16.0	0.8	22.3	0.7	40.0	5.0
Fe ₂ O ₃	9.8	1.2	1.1	11.5	1.2	0.2	3.0
MgO	4.6	15.0	0.1	2.7	0.2	-	1.1
Na ₂ O	2.0	-	0.1	1.7	-	-	-
CaO	2.8	45.0	0.4	15.3	0.5	-	60.0
SO ₃	-	2.2	0.0	1.4	-	-	2.4
K ₂ O	-	-	1.7	2.9	-	-	-
LOI	-	-	-	0.2	-	-	-

ตัวถูกดูดซับ

นิกเกิล (Ni) ซึ่งเป็นโลหะที่มีมนุษย์นำมาใช้เป็นส่วนผสมโลหะและผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายเพื่อใช้เป็นตัวถูกดูดซับ ประกอบด้วย Ni(NO₃)₂ ที่ละลายในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายนิกเกิลที่เลือกคือ 30,000 40,000 และ 50,000 มก./ล ซึ่งคุณสมบัติของโลหะหนักแสดงในตารางที่ 2 [6]

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของสารละลายนิกเกิล

คุณสมบัติ	นิกเกิลไนเตรต
Formula	Ni(NO ₃) ₂
Molecular (g/mol)	290.79
Density (g/cm ³)	2.050
Solubility (g/100cm ³)	94.2

วิธีการทดสอบ

นำเบนโทไนท์ผสมปอซโซลาน 5 ชนิด และปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วน 90 : 10 ต่อมาผสมเบนโทไนท์กับปอซโซลานทั้ง 5 ชนิดและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วน 90 : 5 : 5 นำมาเปรียบเทียบกับเบนโทไนท์ผสมกับปูนซีเมนต์ในการศึกษานี้ทำการทดสอบแบบกะ เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสูงสุดเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับและเปรียบเทียบความสามารถการดูดซับนิกเกิลเมื่อมีและไม่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในเบนโทไนท์ผสมปอซโซลานทั้ง 5 ชนิด การเตรียมตัวอย่างนั้นสามารถทำได้โดยนำอัตราส่วนผสมที่กล่าวมา โดยมีน้ำหนักตัวอย่าง 2.5, 5, 10, 15 และ 20 กรัม ต่อมาทำการเตรียมสารละลายนิกเกิล (Ni) ความเข้มข้นเริ่มต้น คือ 30,000 40,000 และ 50,000 มก./ลิตร นำไปใส่ในขวด 60 มล. ที่มีดินน้ำหนักที่ต่างกันบรรจุไว้ก่อนแล้ว ต่อมานำตัวอย่างทั้งหมดที่เตรียมไปเข้าเครื่องเขย่าโดยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 180 รอบ/นาที เป็นเวลา 72 ชม. จนถึงเวลาสมดุล จากนั้นกรองตัวอย่างด้วยตัวกรอง 45 ไมโครเมตร และเจือจางความเข้มข้นลงด้วยน้ำกลั่น วิเคราะห์ความเข้มข้นที่เหลือโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) ซึ่งจะทำให้การทดสอบซ้ำสามตัวอย่างในแต่ละชุดการทดสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ย ผลที่ได้นั้นสามารถเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับในแต่ละชุดการทดลองได้ ปัจจัยควบคุมในการศึกษานี้ได้แก่ อัตราส่วนผสม อุณหภูมิ เวลา และจำนวนรอบในการเขย่า

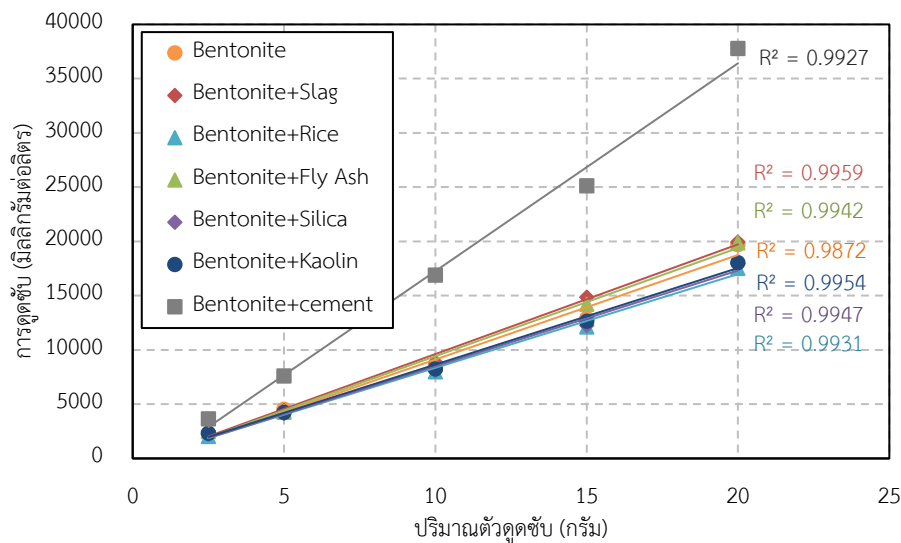
ผลการทดสอบและอภิปรายผล

ทดสอบการดูดซับที่เวลาสมดุล

เวลาตั้งแต่เริ่มดูดซับจนเข้าสู่สภาวะสมดุล ตัวอย่างในการทดสอบเวลาสมดุลทดสอบที่เวลาต่างกันประกอบด้วย 1, 3, 6, 12, 24, 36, 48, 72, 96, และ 120 ชม. [8] ทดสอบกับเบนโทไนท์ เบนโทไนท์ที่ผสมกับปอซโซลาน และเบนโทไนท์ที่ผสมกับซีเมนต์ การดูดซับเริ่มคงสภาพเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชม. ดังนั้นการดูดซับเพื่อควบคุมปัจจัยระยะเวลาในการดูดซับจึงเลือกใช้เวลาทดสอบที่ 72 ชม. ซึ่งมีแนวโน้มในการถึงจุดสมดุลที่เวลาใกล้เคียงกัน

ความสามารถในการดูดซับเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้นจาก 2.5 เป็น 5, 10, 15 และ 20 กรัม เป็นการใช้ตัวดูดซับมากกว่าปกติไม่เคยมีในงานวิจัยก่อนหน้านี้ ทดสอบการดูดซับด้วยวิธีการทดสอบแบบกะ (batch test) ใช้เวลาในการดูดซับ 72 ชม. จากการทดสอบลองผิดลองถูกและศึกษาความสามารถสูงสุดเมื่อนำตัวดูดซับ 2.5 กรัม ทดสอบการดูดซับความเข้มข้น 50,000 มก./ล. นั้นเป็นความเข้มข้นที่สูงมากเกินไป ใช้เพียงแค่ความเข้มข้น 30,000 และ 40,000 มก./ล. แต่เมื่อทดสอบในส่วนของตัวดูดซับ 20 กรัม การทดสอบดูดซับโลหะหนักที่ 30,000 มก./ล. ไม่เพียงพอต่อการศึกษาเนื่องจากปริมาณตัวดูดซับที่มากถึง 20 กรัม สามารถดูดซับโลหะหนักได้หมด ในการทดสอบนี้และการทดสอบถัดไปจึงเลือกใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 40,000 มก./ล. ทดสอบโดยการเพิ่มน้ำหนักหรือปริมาณตัวดูดซับเมื่อนำเบนโทไนท์ผสมซีเมนต์และปอซโซลาน 5 ชนิด โดยในภาพที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับนิกเกิลระหว่างเบนโทไนท์ เบนโทไนท์ผสมซีเมนต์ และเบนโทไนท์ผสมปอซโซลาน 5 ชนิด



ภาพที่ 1 ความสามารถในการดูดซับเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับของเบนโทไนท์ร้อยละ 100 และเบนโทไนท์ร้อยละ 90 ผสมซีเมนต์ร้อยละ 10 และเบนโทไนท์ร้อยละ 90 ผสมปอซโซลาน 5 ชนิด ร้อยละ 10

พบว่า ความสามารถในการดูดซับของตัวอย่างนั้นมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามปริมาณการดูดซับที่เพิ่มขึ้น โดยเบนโทไนท์ เบนโทไนท์ผสมกับซีเมนต์ และเบนโทไนท์ผสมปอซโซลาน เริ่มต้นที่ 2.5 กรัม ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณด้วยการเพิ่มขึ้นที่ 5 กรัม 10 กรัม 15 กรัม และ 20 กรัม ความสามารถในการดูดซับเมื่อเบนโทไนท์ผสมปอซโซลาน 5 ชนิด พบว่า ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวดูดซับที่เพิ่มมากขึ้นจาก 2.5 เป็น 5, 10, 15 และ 20 กรัม ซึ่งจะสรุปความสามารถในการดูดซับได้ดัง (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน

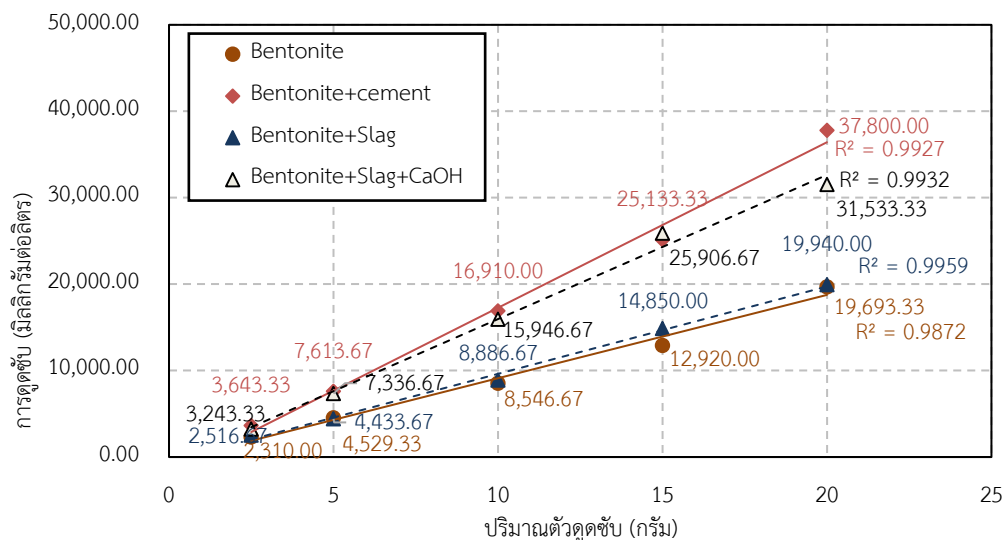
ตัวดูดซับ	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ล.)				
	2.5 กรัม	5 กรัม	10 กรัม	15 กรัม	20 กรัม
เบนโทไนท์ (Ben)	2,310.00	4,529.33	8,546.67	12,920.00	19,693.33
เบนโทไนท์+ปูนซีเมนต์ (Ben+Ce)	3,643.33	7,613.67	16,910.00	25,133.33	37,800.00
เบนโทไนท์+ตะกรันเหล็กบด (Ben+Slag)	2,516.67	4,433.67	8,886.67	14,850.00	19,940.00
เบนโทไนท์+เถ้าแกลบ (Ben+Rice)	2,030.00	4,279.33	7,986.67	12,106.67	17,520.00
เบนโทไนท์+เถ้าลอย (Ben+Fly Ash)	2,486.67	4,363.33	8,642.00	14,213.33	19,881.00
เบนโทไนท์+ซิลิกาฟุ้ง (Ben+Silica)	2,235.00	4,156.67	8,110.00	12,253.33	17,949.00
เบนโทไนท์+ดินขาวเผา (Ben+Kaolin)	2,315.00	4,246.67	8,241.00	12,640.00	18,050.00

จาก (ตารางที่ 3) เบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์และเบนโทไนท์ผสมปอซโซลาน 5 ชนิด มีความสามารถในการดูดซับที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับซึ่งมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ความสามารถในการดูดซับสูงสุดเรียงจากมากไปหาน้อยได้ ดังนี้ เบนโทไนท์ผสมกับซีเมนต์ > ตะกรันเหล็กบด > เถ้าลอย > ดินขาวเผา > ซิลิกาฟุ้ง > เถ้าแกลบ เป็นต้น

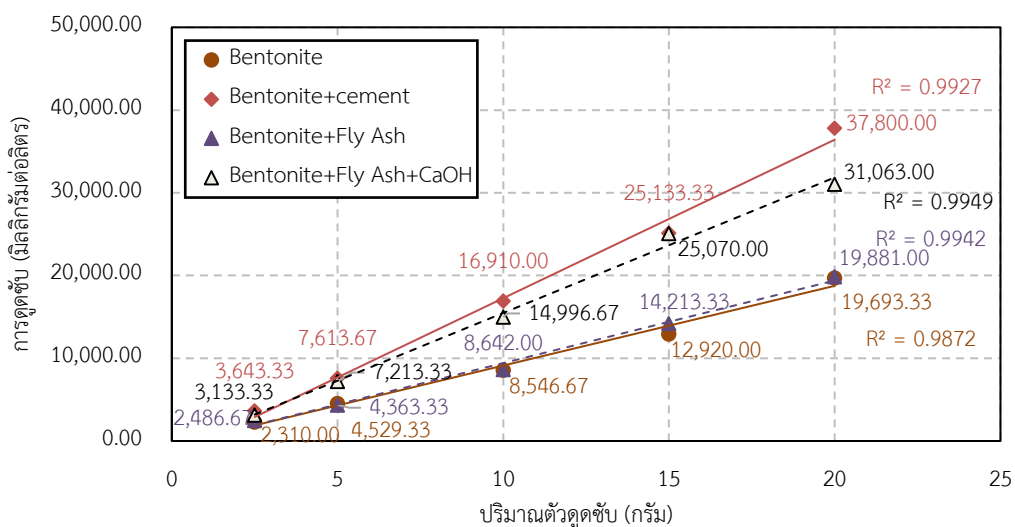
เพื่อที่จะให้ความสามารถของเบนโทไนท์ผสมปอซโซลานสามารถดูดซับได้สูงขึ้น จึงเพิ่มความสามารถในการดูดซับนำไปสู่การทดสอบถัดไป

ความสามารถในการดูดซับเมื่อเพิ่มความสามารถการดูดซับให้กับปอซโซลานด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์

ศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกับเบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์ และเบนโทไนท์ผสมปอซโซลานโดยที่มีและไม่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยทดสอบการดูดซับแบบเดียวกับการทดสอบการเพิ่มความสามารถในการดูดซับด้วยการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ ดูดซับความเข้มข้นที่ 40,000 มก./ล. เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับของเบนโทไนท์ผสมปอซโซลาน 5 ชนิด ให้มีความสามารถใกล้เคียงกับเบนโทไนท์ผสมซีเมนต์ อ้างอิงความสามารถในการดูดซับของเบนโทไนท์และเบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์จากการทดสอบก่อนหน้านี้ ผลที่ได้แสดง (ดังภาพที่ 2-6)

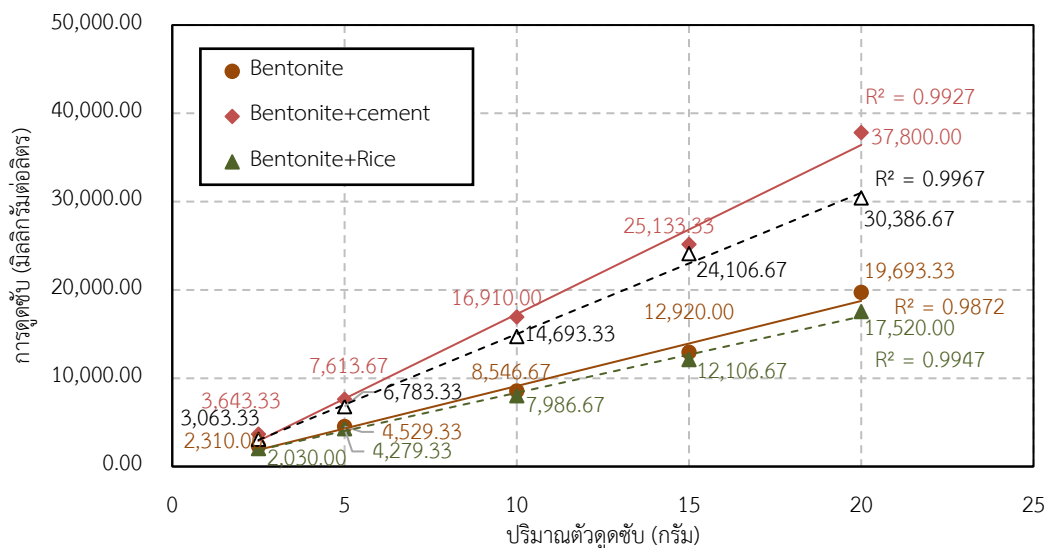


ภาพที่ 2 ความสามารถในการดูดซับเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับของเบนโทไนท์ร้อยละ 100 เบนโทไนท์ร้อยละ 90 ผสมตะกรันเหล็กร้อยละ 10 เบนโทไนท์ผสมตะกรันเหล็กร้อยละ 5 กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 และเบนโทไนท์ร้อยละ 90 ผสมซีเมนต์ร้อยละ 10

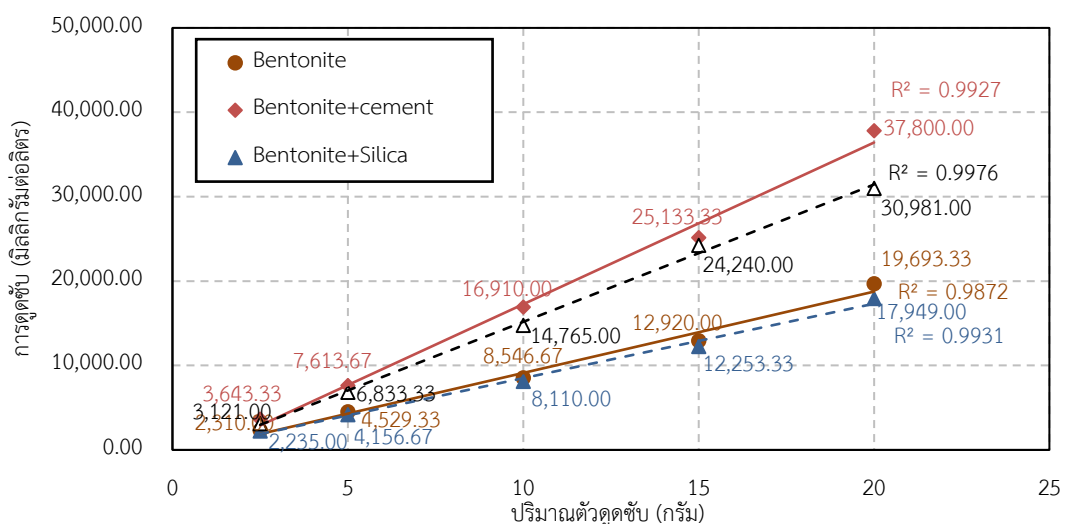


ภาพที่ 3 ความสามารถในการดูดซับเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับของเบนโทไนท์ร้อยละ 100 เบนโทไนท์ร้อยละ 90 ผสมเถ้าลอยร้อยละ 10 เบนโทไนท์ผสมเถ้าลอยร้อยละ 5 กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 และเบนโทไนท์ร้อยละ 90 ผสมซีเมนต์ร้อยละ 10

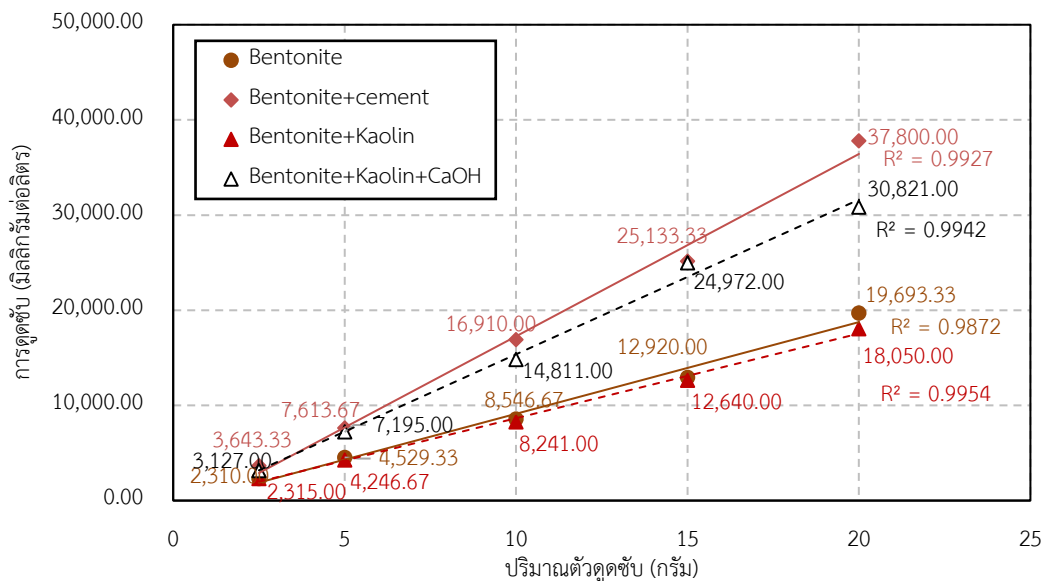
จาก ภาพที่ 2 และ ภาพที่ 3 จากการทดสอบพบว่าเบนโทไนท์ผสมตะกรันเหล็กและเถ้าลอยเมื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ความสามารถในการดูดซับนั้นเพิ่มขึ้นสูงใกล้เคียงเบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์ เบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์ที่ 20 กรัม ดูดซับได้ 37,800 มก./ล. ความสามารถในการดูดซับของเบนโทไนท์ผสมตะกรันเหล็กและเถ้าลอยที่ไม่ผสมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 20 กรัม สามารถดูดซับได้ 19,940 และ 19,881 มก./ล. ซึ่งเบนโทไนท์ผสมตะกรันเหล็กและเถ้ากลับเพิ่มความสามารถด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 20 กรัม สามารถดูดซับได้ 31,533 และ 31,063 มก./ล. จากนั้นทดสอบเบนโทไนท์ผสมขุยมะพร้าวที่เหลือ 3 ชนิด แสดงดัง ภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4 ความสามารถในการดูดซับเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับของเบนโทไนท์ร้อยละ 100 เบนโทไนท์ร้อยละ 90 ผสมเถ้ากลบร้อยละ 10 เบนโทไนท์ผสมเถ้ากลบร้อยละ 5 กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 และเบนโทไนท์ร้อยละ 90 ผสมซีเมนต์ร้อยละ 10



ภาพที่ 5 ความสามารถในการดูดซับเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับของเบนโทไนท์ร้อยละ 100 เบนโทไนท์ร้อยละ 90 ผสมซิลิกาฟูมร้อยละ 10 เบนโทไนท์ผสมซิลิกาฟูมร้อยละ 5 กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 และเบนโทไนท์ร้อยละ 90 ผสมซีเมนต์ร้อยละ 10



ภาพที่ 6 ความสามารถในการดูดซับเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับของเบนโทไนท์ร้อยละ 100 เบนโทไนท์ร้อยละ 90 ผสมดินขาว เพลร้อยละ 10 เบนโทไนท์ผสมดินขาวเพลร้อยละ 5 กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 และเบนโทไนท์ร้อยละ 90 ผสมซีเมนต์ร้อยละ 10

จาก ภาพที่ 4-6 พบว่าเบนโทไนท์ผสมเถ้าแกลบ ซิลิกาฟุ่ม และดินขาวเผลา ความสามารถในการดูดซับเมื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นสูง แต่ไม่ใกล้เคียงกับเบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์ เบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์ที่ 20 กรัม สามารถดูดซับน้ำได้ 40,000 มก./ล. ดูดซับได้ 37,800 มก./ล. ความสามารถในการดูดซับของเบนโทไนท์ผสมเถ้าแกลบ ซิลิกาฟุ่ม และดินขาวเผลา ที่ไม่ผสมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 20 กรัม สามารถดูดซับได้ 17,520 17,949 และ 18,050 มก./ล. จะเห็นว่าความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าเบนโทไนท์ ที่ 20 กรัม ดูดซับได้ 19,693 มก./ล. แต่เมื่อเบนโทไนท์ผสมเถ้าแกลบ ซิลิกาฟุ่ม และดินขาวเผลา เพิ่มความสามารถด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 20 กรัม สามารถดูดซับได้ 30,387 30,981 และ 30,821 มก./ล. ผลที่ได้จากการทดสอบการดูดซับด้วยการเพิ่มความสามารถในการดูดซับด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของเบนโทไนท์ผสมปอซโซลาน 5 ชนิด สามารถนำผลที่ได้ทั้งหมดมาศึกษาความสามารถในการดูดซับโดยคิดเป็นร้อยละการเพิ่มขึ้นได้ดัง ตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสามารถในการดูดซับน้ำที่ความเข้มข้น 40,000 มก./ล. เมื่อมีและไม่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์

ตัวดูดซับ 20 กรัม	ความสามารถในการดูดซับ		ความสามารถในการดูดซับที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH ₂) (%)
	ไม่มี Ca(OH ₂)	มี Ca(OH ₂)	
เบนโทไนท์+ซีเมนต์ (Ben+Ce)	94.5	-	-
เบนโทไนท์+ตะกรันเหล็ก (Ben+Slag)	49.8	78.8	58.6
เบนโทไนท์+เถ้าแกลบ (Ben+Rice)	43.8	76.0	73.5
เบนโทไนท์+เถ้าลอย (Ben+Fly Ash)	49.7	77.6	56.1
เบนโทไนท์+ซิลิกาฟุ่ม (Ben+Silica)	44.9	77.4	72.4
เบนโทไนท์+ดินขาวเผลา (Ben+Kaolin)	45.1	77.0	70.7

พบว่ามีความสามารถสูงขึ้นทุกตัวอย่างและความสามารถในการดูดซับเรียงจากมากไปน้อยคล้ายคลึงกับการทดสอบก่อนหน้า และจากตารางที่ 4 พบว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์สามารถช่วยให้เบนโทไนท์ผสมปอซโซลานมีความสามารถเพิ่มขึ้นเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ เบนโทไนท์ผสมเถ้าแกลบ ซิลิกาฟุ้ง ดินขาวเผา ตะกรันเหล็ก ถ้ำลอย เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

ศึกษาการดูดซับนิกเกิลของตัวอย่างเบนโทไนท์, เบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์, เบนโทไนท์ผสมปอซโซลาน และเบนโทไนท์ผสมปอซโซลานที่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดูดซับนิกเกิล (Ni) โดยใช้วิธีการทดสอบแบบกะ เลือกเวลาในการดูดซับที่ 72 ชม. ซึ่งสามารถดูดซับโลหะหนักในปริมาณที่เริ่มคงที่ จากนั้นทดสอบการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจาก 2.5 เป็น 5, 10, 15 และ 20 กรัม ทำการทดสอบการดูดซับนิกเกิลที่ความเข้มข้น 40,000 มก./ล. พบว่าความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจะสามารถทำให้ค่าคะแนนประมาณตัวดูดซับหากต้องการดูดซับโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงก็สามารถรู้ได้ว่าควรใช้ตัวดูดซับปริมาณเท่าใด และเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเมื่อยังไม่เพิ่มความสามารถด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่าก่อนผสมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความสามารถในการดูดซับของเบนโทไนท์ผสมปอซโซลานมีความสามารถเพิ่มขึ้นและลดลงจากเดิม แต่เมื่อเพิ่มแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าไปในส่วนผสม ความสามารถในการดูดซับของตัวอย่างที่ผสมปอซโซลานทั้ง 5 ชนิดมีความสามารถที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากองค์ประกอบหลักของวัสดุปอซโซลานจากตารางที่ 1 เมื่อเบนโทไนท์ผสมปอซโซลานและผสมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำปอซโซลานจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เรียกว่า "ปฏิกิริยาปอซโซลาน" ซึ่ง CaO ที่มีอยู่ในตัวดูดซับทุกชนิดทำปฏิกิริยากับน้ำให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เช่นเดียวกันสารนี้มีไอออนของไฮดรอกไซด์ (OH^-) ซึ่งมีประจุเป็นลบสามารถดูดซับประจุบวกของโลหะหนักให้มาเกาะติดที่ผิวของตัวดูดซับได้ดี จึงทำให้เกิดการดูดซับที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งใกล้เคียงกับการดูดซับของเบนโทไนท์ผสมปูนซีเมนต์ โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้โดยการทำเป็นวัสดุเป็นก้อนหรือรูปทรงแล้วนำเอาไปแขวนในอ่างหรือบ่อที่มีการปนเปื้อนในน้ำด้วยโลหะหนัก ซึ่งเป็นการใช้วัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

1. Pollution Control Department. Ministry of Natural Resources and Environment. Thailand State of Pollution Report. 2020.
2. Dube A, Zbytniewski R, Kawalkowski T, Cukrowska E, Buszewski B. Adsorption and Migration of Heavy Metals in Soil. Polish Journal of Environment Studies. 2001; 10(1): 1-10.
3. Mohan S. Removal of heavy metal ions from municipal solid waste leachate using coal fly ash as an adsorbent. Journal of Hazardous Materials. 2009; (169): 351-359.
4. Jiang M, Jin X, Lu X, Chen Z. Adsorption of Pb(II), Cd(II), Ni(II), and Cu(II) onto natural kaolinite clay. Desalination. 2010; (252): 33-39.
5. Khan MR, Hegde RA, Shabiimam MA. Adsorption of Lead by Bentonite Clay. International Journal of Scientific Research and Management, 2017; 5(7): 5800-5804.
6. Natta O, Pongsakorn P, Dolrerddee H. Proceedings of the 4th International Conference on Science, Engineering & Environment (SEE); 2018 Nov 12-14; Nagoya, Japan. pp. 358-363



7. Pongsakorn P, Arnun C, Chinawat M. Proceedings of the 4th International Conference on Science, Engineering & Environment (SEE); 2018 Nov 12-14; Nagoya, Japan. pp. 419-424.
8. Pongsakorn P, Noppadol S. Proceedings of the 1st International Conference on GEOMATE; 2011 Nov 21-23; Mie, Japan. pp. 263-267.