การสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ จากเถ้าชานอ้อยโรงงานน้ำตาล สำหรับการประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับในการกำจัดตะกั่ว (II) ไอออน

Synthesis of Zeolite A using Sugarcane Bagasse Ash and Its Application for Adsorbent in Removing Lead (II) Ion

วาสนา สร้อยลา[1] จิราวรรณ เกาะม่วงหมู่[1] ภัทร์ลดา บุญสิงห์[1] ศศิธร แสนยากรณ์[1] ดรุณี สุขชิต[1] สายสมร ลำลอง[1]
มาลี ประจวบสุข[1] จิตรลดา เดชาติวงศ์[1] ประจักกิจ ระวี[1] พฤทธิ์ คำศรี[2] ศศิจุฑา วัฒนราช[3] ปาจรีย์ ถาวรนิติ[3]
บรรเจิด จงสมจิตร[4] นรรฏธวรรณ ประสงค์ธรรม[5] และ พรพรรณ พึ่งโพธิ์[1*]

Wassana Soila[1], Jirawan Komuangmu[1], Patlada Boonsing[1], Sasithorn Saenyagorn[1], Darunee Sukchit[1], Saisamorn Lumlong[1],
Malee Prajuabsuk[1], Jitlada Deshativong[1], Prajakkit Rawee[1], Pharit Kamsri[2], Sasijuta Wattanarach[3], Pajaree Thavorniti[3],
Bunjerd Jongsomjit[4], Natthawan Prasongthum[5] and Pornpan Pungpo[1*]

[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม
[3]ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
[4]ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านคาตาไลซิสและวิศวกรรมปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[5]สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
[1]Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
[2]Division of Chemistry, Faculty of Science, Nakhon Phanom University
[3]National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
[4]Center of Excellence on Catalysis and Catalytic Reaction Engineering,
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
[5]Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR)
[*]E-mail: pornpan_ubu@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ จากเถ้าชานอ้อยโรงงานน้ำตาล ศึกษาอัตราส่วนเถ้าต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เถ้า:NaOH) ที่แตกต่างกัน ได้แก่ อัตราส่วน 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 ด้วยวิธีการฟิวชั่นและวิธีการไฮโดเทอร์มอล ซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์ได้ถูกนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF) พบว่าซีโอไลต์ เอ จากเถ้าชานอ้อยโรงงานน้ำตาล อัตราส่วน เถ้า:NaOH ที่ 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 เป็นสัดส่วน SiO_2/Al_2O_3 อยู่ในช่วง 1-1.25 แสดงว่ามีความเป็นซีโอไลต์ เอ นอกจากนี้ได้นำซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ (อัตราส่วน เถ้า:NaOH ได้แก่ 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2) ไปศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนัก ตะกั่ว (II) ความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) เท่ากับ 96.2, 97.1, 96.4 และ 99.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และได้ศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม สำหรับน้ำหนักตัวดูดซับซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) คือ 8 กรัมต่อลิตร ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วนเถ้า:NaOH ต่าง ๆ สามารถใช้ในการกำจัดโลหะหนักตะกั่ว (II) จากแหล่งน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ซีโอไลต์ เอ ตะกั่ว (II) การดูดซับ เถ้ากากชานอ้อย

Abstract

This research aims to synthesize zeolite A from sugarcane bagasse ash from sugar mills. The synthesis of zeolite A with different ash:NaOH ratios including 1:1, 1:1.2, 1:1.5 and 1:2 was evaluated by fusion and hydrothermal methods. The synthesized zeolite A was identified through X-ray fluorescence techniques (XRF), to confirm that the ratios of ash:NaOH at 1:1.2, 1:1.5 and 1:2 and the Si/Al values ranged from 1 to 1.25 are zeolite A. In addition, the synthesized zeolite A (ash:NaOH ratios 1:1, 1:1.2, 1:1.5 and 1:2) was then used as an adsorbent for the removal of lead (II) ions at the initial constant of 50.00 mg/l. The adsorption efficiency for lead (II) ions was 96.2, 97.1, 96.4, and 99.6 %, respectively. The optimum amount of adsorbents was studied. The optimal amount of zeolite A at different ratios for the adsorption of lead (II) ions was 8g/L. So, it was shown that zeolite A at different ash:NaOH ratios could be used to effectively remove lead (II) ions from wastewater.

Keywords: Zeolite A, Lead (II), Adsorption, Sugarcane Bagasse Ash

บทนำ

ในขณะที่เศรษฐกิจโลกยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปริมาณมลพิษที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมก็เพิ่มขึ้นเช่นกันจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การตกแต่งโลหะ การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า การฟอกหนัง การผลิตสิ่งทอ และการกลั่นเชื้อเพลิง ทำให้เกิดน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ปรอท ทองแดง นิกเกิล เหล็ก สังกะสี สารหนู และโครเมียม ส่งผลทางด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญทำให้เกิดผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหาร และส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ (Momčilović et al., 2011) การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่สารตะกั่ว ซึ่งเป็นหนึ่งในสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่มีพิษร้ายแรงที่สุด หลักเกณฑ์ของกรมควบคุมโรค แนะนำการจำกัดปริมาณสารตะกั่วในน้ำดื่มเกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร (อรพันธ์และวีระศักดิ์, 2557) การได้รับสารตะกั่วของมนุษย์ส่งผลให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพมากมาย เนื่องจากตะกั่วสามารถเก็บสะสมไว้ในกระดูก ตับ กล้ามเนื้อ และสมอง จึงอาจส่งผลต่อระบบอวัยวะสำคัญทั้งหมด เช่น ระบบสร้างเม็ดเลือด ไต ระบบประสาท ระบบหัวใจ และหลอดเลือด (Flora et al., 2012) พิษตะกั่วที่ไม่ได้รับการรักษาอาจทำให้เสียชีวิตได้ เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจร้ายแรงของสารตะกั่วต่อสุขภาพของมนุษย์ จำเป็นต้องเข้าใจวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนไอออนของโลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติ

เถ้าชานอ้อย ถูกผลิตขึ้นเป็นจำนวนมากในโรงงานน้ำตาลและเอทานอลหลังจากเผามวลชีวภาพ เพื่อผลิตพลังงานและไอน้ำ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของชานอ้อย ดังนั้น การค้นหากระบวนการที่สะอาดขึ้นเพื่อเพิ่มมูลค่าจากการใช้ประโยชน์จากขยะมูลฝอยจึงเป็นที่สนใจอย่างมากจากมุมมองด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ เนื่องจาก เถ้าชานอ้อยส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ และ SiO_2 องค์ประกอบหลัก (Gupta et al., 2003) เราจึงศึกษาการเปลี่ยนเถ้าชานอ้อยนี้เป็นอะลูมิโนซิลิเกตเพื่อให้ได้วัสดุดูดซับโลหะหนัก

ซีโอไลต์ เอ หรือที่เรียกว่า LTA (Linde Type A) อยู่ในตระกูลอะลูมิโนซิลิเกต มีสูตร $|Na + 12(H2O)27|8[Al12Si 12O48]8$ ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบโซเดียมไฮเดรตที่โซเดียมไอออนในซีโอไลต์ เอ สามารถแลกเปลี่ยนกับไอออนบวกอื่น ๆ ได้ เช่น ลิเทียม (Li-LTA) โพแทสเซียม (K-LTA) หรือแคลเซียม (Ca-LTA) โครงสร้างหลักของซีโอไลต์ เอ คือโมเลกุลโซดาไลต์ ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยวงแหวนสี่มุมเป็นสามมิติ จะประกอบด้วยโพรงตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.4 Å เชื่อมต่อกันด้วยช่องเปิดแปดวงแหวนที่มีรูรับแสง 4.1 Å จึงก่อตัวเป็นโครงสร้างซีโอไลต์แบบเปิด (Townsend and Coker, 2011) ทำให้มีลักษณะเป็นผลึก มีองค์ประกอบธาตุทางเคมี มีขนาดพื้นที่ผิวมาก และมีรูพรุนขนาดใหม่ จึงให้ความสามารถในการดูดซับสูง

ซีโอไลต์ เอ ที่มีประสิทธิภาพโดยใช้ของเสียจากอุตสาหกรรมของโรงงานน้ำตาลและโรงไฟฟ้าจึงเป็นตัวดูดซับต้นทุนต่ำสำหรับการกำจัดตะกั่วในสารละลายที่เป็นน้ำเพื่อให้ได้ทั้งคุณภาพน้ำและการจัดการของเสีย (Tao et al., 2015)

งานวิจัยนี้จึงได้สังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ โดยศึกษาอัตราส่วน เถ้า:NaOH ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน ได้แก่ อัตราส่วน 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ โดยใช้เถ้าชานอ้อยโรงงานน้ำตาลมิตรผลจากจังหวัดอำนาจเจริญในการสังเคราะห์ และนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRF เพื่อศึกษาปริมาณของ Si และ Al ในซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ นอกจากนี้ยังนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับในการกำจัดโลหะหนักตะกั่ว (II) ที่ความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยศึกษาหาประสิทธิภาพในการดูดซับ และน้ำหนักที่เหมาะสมในการดูดซับที่แตกต่างกัน ได้แก่ 4, 8, 20 และ 40 กรัมต่อลิตร เพื่อนำไปประยุกต์ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียที่ปนเปื้อนตามแหล่งน้ำ

วิธีการวิจัย

1. การสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ จากเถ้าชานอ้อยโรงงานน้ำตาลและพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วนเทคนิค XRF

1.1 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH แตกต่างกัน จากเถ้าชานอ้อยโรงงานน้ำตาล นำเถ้าชานอ้อยโรงงานน้ำตาลมาชั่ง 20.0 กรัม และชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วน 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 นำมาบดให้ละเอียด แล้วเทใส่ถ้วยกระเบื้อง นำไปผ่านกระบวกการฟิวชั่นที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 90 นาที รอให้เย็น จากนั้นเทใส่ขวดโพลีโพรพิลีนผสมกับโซเดียมอะลูมิเนต 29.6 กรัม น้ำปราศจากไอออน 331.1 กรัม กวน 10 นาที นำไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 16 ชั่วโมง นำมาล้างปรับ pH ด้วยน้ำปราศจากไอออนจนได้ pH = 7 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 16 ชั่วโมง จะได้ซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH ได้แก่ 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2

1.2 พิสูจน์เอกลักษณ์ของเถ้าชานอ้อย และซีโอไลต์ เอ จากเถ้าชานอ้อย ด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

2. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) ด้วยตัวดูดซับซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH ได้แก่ 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2

2.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว (II) ก่อนการดูดซับด้วยตัวดูดซับซีโอไลต์ เอ

เตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว (II) ที่ความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตมา 1.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนครบ 50.00 มิลลิลิตร (ทำซ้ำ 3 ครั้ง) แล้วนำสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว (II) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค Atomic Absorption spectroscopy, AAS และคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

2.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว (II) หลังการดูดซับด้วยตัวดูดซับซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH ได้แก่ 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2

ชั่งซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH ได้แก่ 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 มา 0.2 กรัม ปิเปตสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว (II) ที่ความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 25.00 มิลลิตร กวนสารละลาย 30 วินาที โดยใช้เวลาในการดูดซับ 60 นาที หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษเบอร์ 1 แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค Atomic Absorption spectroscopy, AAS และคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (ทำซ้ำ 3 ครั้ง)

3. การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้ซีโอไลต์ เอ ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว (II)

3.1 การศึกษาปริมาณของซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH ได้แก่ 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 ที่เหมาะสม ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว (II)

- หาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว (II) ก่อนการดูดซับ ด้วยตัวดูดซับซีโอไลต์ เอ

เตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว (II) ที่ความเข้มข้น 50.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตมา 1.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนครบ 50.00 มิลลิลิตร (ทำซ้ำ 3 ครั้ง) แล้วนำสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว (II) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค Atomic Absorption spectroscopy, AAS และคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

- หาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว (II) หลังการดูดซับ ด้วยซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH ได้แก่ 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2

ชั่งซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH ได้แก่ 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 มา 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 กรัม ปิเปตสารละลายมาตรฐานโลหะตะกั่ว (II) ความเข้มข้น 50.0 มิลลิกรัมต่อลิตร 25.00 มิลลิลิตร กวน 30 วินาที ใช้เวลาในการดูดซับ 60 นาที หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษเบอร์ 1 แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค Atomic Absorption spectroscopy, AAS และคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (ทำซ้ำ 3 ครั้ง)

ผลการวิจัย

1. การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์ เอ

พิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์ เอ จากเถ้าชานอ้อยโดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบธาตุของเถ้าชานอ้อย พบว่ามีปริมาณ SiO_2 สูงสุดคิดเป็นร้อยละ 74.9 โดยปริมาณรองลงมา คือ K_2O ร้อยละ 5.9 Al_2O_3 ร้อยละ 5.0 นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบธาตุอื่นๆ ปะปนเล็กน้อย และวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบธาตุของซีโอไลต์ เอ อัตราส่วน เถ้า:NaOH ที่ 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 พบว่ามีปริมาณ SiO_2 สูงสุดร้อยละ 44.5, 43.2, 41.9, และ 39.6ตามลำดับ โดยปริมาณรองลงมา คือ Al_2O_3 ร้อยละ 35.0, 36.5, 36.9 และ 36.5 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีธาตุองค์ประกอบอื่น ๆ ปะปนเล็กน้อย อาทิเช่น Fe_2O_3, Na_2O และ MgO แสดงดังตารางที่ 1 เนื่องจากองค์ประกอบของ Si ต่อ Al พบว่าซีโอไลต์ เอ จะมีอัตราส่วน Si ต่อ Al คือ 1-1.25 (Hashemian et al., 2013) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ X-ray Fluorescence (XRF) ซีโอไลต์ เอ

องค์ประกอบทางเคมี	เถ้าชานอ้อย (%)	ซีโอไลต์ เอ (%)			
		เถ้า:NaOH 1:1	เถ้า:NaOH 1:1.2	เถ้า:NaOH 1:1.5	เถ้า:NaOH 1:2
SiO_2	74.90	44.50	43.20	41.90	39.60
Al_2O_3	5.02	35.00	36.50	36.90	36.50
Fe_2O_3	1.85	0.72	0.57	0.61	0.59
Na_2O	-	13.50	13.40	14.50	17.50
MgO	2.53	1.45	1.48	1.16	1.41
K_2O	5.88	1.10	1.20	1.17	0.88
TiO_2	0.64	0.22	0.20	0.19	0.21
P_2O_5	2.76	0.11	0.08	0.07	0.09

ตารางที่ 2 อัตราส่วน SiO_2/Al_2O_3 ของซีโอไลต์ แต่ละอัตราส่วน

อัตราส่วน เถ้า: NaOH	SiO_2/Al_2O_3
1:1	1.27
1:1.2	1.18
1:1.5	1.13
1:2	1.08

จากตารางที่ 2 พบว่าซีโอไลต์ เอ อัตราส่วน เถ้า:NaOH ที่ 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 มีอัตราส่วน SiO_2/Al_2O_3 เท่ากับ 1.18, 1.13 และ 1.08 ตามลำดับ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของซีโอไลต์ เอ อยู่ในช่วง 1-1.25 จึงยืนยันได้ว่าเป็นซีโอไลต์ เอ จากการทดลองที่อัตราส่วน เถ้า: NaOH ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ คือ อัตราส่วน 1:1.2 หากมีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไปจะทำให้อัตราการละลายกลับของผลึกซีโอไลต์สูงกว่าอัตราการเกิดและอัตราการโตของผลึกซีโอไลต์ ทำให้ไม่สามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ได้ และยังช่วยลดการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ (รสนาและเมตตา, 2545)

2. การศึกประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) ด้วยซีโอไลต์ เอ

2.1 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) ด้วยซีโอไลต์ เอ

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับปริมาณ 8 กรัมต่อลิตร ในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) ความเข้มข้น 50.00 มิลิกรัมต่อลิตร พบว่าซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH คือ 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก ตะกั่ว (II) เท่ากับ 97.1, 96.4 และ 99.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ซีโอไลต์ที่อัตราส่วนเถ้า:NaOH 1:1 ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) เท่ากับ 96.2 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 3 อัตราส่วนของ เถ้า:NaOH มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) เนื่องจาก NaOH ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น Si และ Al ในเถ้า ส่งผลก่อให้เกิดซิลิเกต และอะลูมิเนตที่ละลายน้ำได้ เพื่อผลิตซิลิกอนและอลูมิเนียมที่มีความเข้มข้นสูงช่วยในการก่อตัว และมีส่วนช่วยในการตกผลึกของ ซีโอไลต์ เอ ในปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งจะเกิดอันตรกิริยาขึ้นโดยซีโอไลต์จะมีอะลูมิเนียมในโครงสร้างทำให้เกิดเป็นประจุลบ จึงสามารถดูดซับกับโลหะหนักตะกั่ว (II) ที่มีประจุบวกได้

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) ของซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH ต่าง ๆ

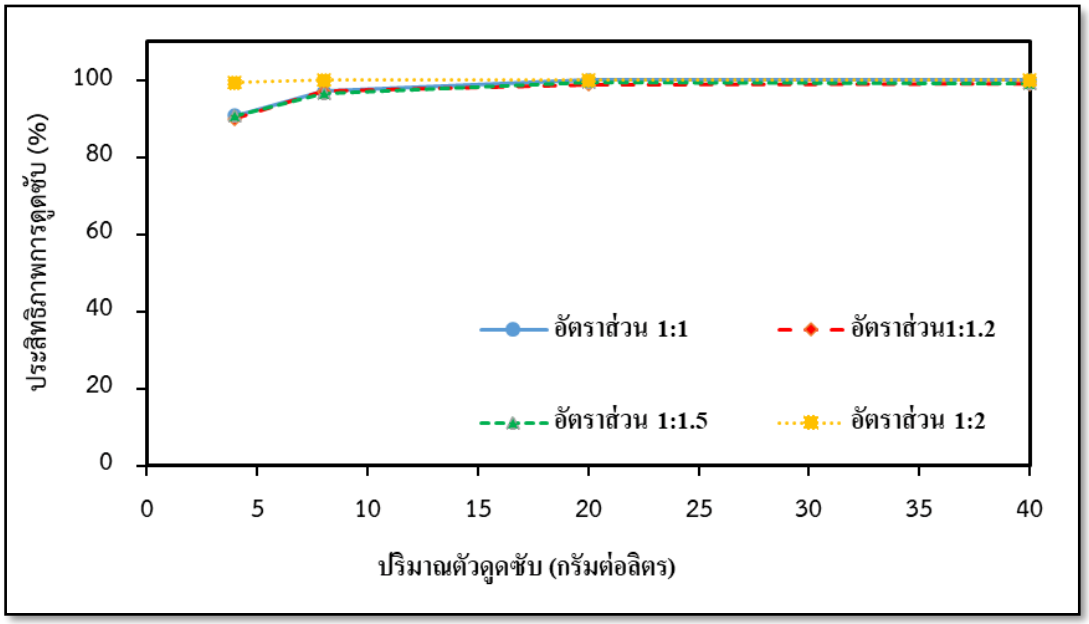
อัตราส่วน เถ้า:NaOH	**ประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ย (%) ± S.D.**
1:1	96.2 ± 0.5
1:1.2	97.1 ± 0.1
1:1.5	96.4 ± 0.2
1:2	99.6 ± 0.0

2.2 ศึกษาปริมาณของซีโอไลต์ เอ ที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II)

การศึกษาปริมาณของซีโอไลต์ เอ ที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) โดยใช้ปริมาณซีโอไลต์ เอ ที่ศึกษา คือ 4, 8, 20 และ 40 กรัมต่อลิตร ในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) ที่ความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) ดังตารางที่ 4 และ ภาพที่ 1

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะตะกั่ว (II) ของซีโอไลต์ เอ อัตราส่วน เถ้า:NaOH ต่าง ๆ ที่น้ำหนักตัวดูดซับแตกต่างกัน

น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะตะกั่ว (II) ของซีโอไลต์			
	เถ้า:NaOH 1:1	เถ้า:NaOH 1:1.2	เถ้า:NaOH 1:1.5	เถ้า:NaOH 1:2
4.0	90.9 ± 0.0	90.0 ± 0.4	90.9 ± 1.2	99.4 ± 0.0
8.0	97.2 ± 0.0	97.1 ± 0.1	96.7 ± 0.4	100.0 ± 0.0
20.0	100.0 ± 0.0	98.9 ± 0.1	99.5 ± 0.0	100.0 ± 0.0
40.0	100.0 ± 0.0	99.1 ± 0.1	99.2 ± 0.2	100.0 ± 0.0



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วนต่าง ๆ และประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II)

3. ผลการศึกษาน้ำหนักตัวดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) ความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยซีโอไลต์ เอ อัตราส่วน เถ้า:NaOH ที่อัตราส่วนต่าง ๆ จากภาพที่ 1 และตารางที่ 4 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับประสิทธิภาพในการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักตัวดูดซับ เมื่อน้ำหนักตัวดูดซับของซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH ได้แก่ 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 40 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 97.1 เป็น 99.1, 96.7 เป็น 99.2 และ 100.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักที่ใช้ พบว่าต้องใช้น้ำหนักเพิ่มมากขึ้นถึง 5 เท่า จาก 8 เป็น 40 กรัมต่อลิตร ดังนั้นน้ำหนักที่เหมาะสม คือ 8 กรัมต่อลิตร เนื่องจากประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) จากสารละลายเริ่มเข้าสู่สมดุล และที่น้ำหนักตัวดูดซับของซีโอไลต์ เอ 8 กรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) ที่สูงมากกว่า 95 % จากนั้นได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH = 1:1 ซึ่งไม่เป็นซีโอไลต์ เอ แต่อาจเป็นซีโอไลต์ชนิดอื่น ที่สามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) ได้เช่นกัน

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้เถ้าชานอ้อยโรงงานน้ำตาลในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH ได้แก่ อัตราส่วน 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 เป็นตัวดูดซับสำหรับการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) โดยนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRF พบว่าซีโอไลต์ เอ อัตราส่วน เถ้า:NaOH ที่ 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 มีปริมาณ Si ต่อ Al เท่ากับ 1.18, 1.13 และ 1.08 ตามลำดับ แสดงให้ว่าอัตราส่วนดังกล่าวเป็นซีโอไลต์ เอ จากการที่อัตราส่วนเถ้า:NaOH เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นเนื่องจาก NaOH ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น Si และ Al ในเถ้า ส่งผลก่อให้เกิดซิลิเกต และอะลูมิเนตที่ละลายน้ำได้เพื่อผลิตซิลิกอนและอลูมิเนียมที่มีความเข้มข้นสูงช่วยในการก่อตัว และมีส่วนช่วยในการตกผลึกของซีโอไลต์ เอ ในปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลซึ่งจะเกิดอันตรกิริยาขึ้น โดยซีโอไลต์จะมีอะลูมิเนียมในโครงสร้างทำให้เกิดเป็นประจุลบ จึงสามารถดูดซับกับโลหะหนักตะกั่ว (II) ที่มีประจุบวกได้ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ ซีโอไลต์ เอ คือ อัตราส่วนเถ้า:NaOH ที่ 1:1.2 เนื่องจากสามารถลดปริมาณการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ได้นำไปศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) ความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการดูดซับมากว่า 97 เปอร์เซ็นต์ ได้ศึกษาน้ำหนักตัวดูดซับที่แตกต่างกัน ได้แก่ 4, 8, 20 และ 40 กรัมต่อลิตร ในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) ความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าตัวดูดซับซีโอไลต์ เอ อัตราส่วน เถ้า:NaOH ที่ 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 ที่น้ำหนักตัวดูดซับ 4 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการดูดซับ 90.9, 90.0, 90.9 และ 99.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหนักตัวดูดซับซีโอไลต์ เอ 8 กรัมต่อลิตร จึงเหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (II) และจะทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ ไอโซเทอร์มการดูดซับ จลนพลศาสตร์การดูดซับ และอุณหพลศาสตร์การดูดซับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยบริหารจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) (PMU-C); Project No.185379 ขอขอบคุณทุนวิจัยและสร้างนวัตกรรมมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ที่สนับสนุนทุนวิจัยสำหรับทำงานวิจัย ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) เพื่อสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ 2566 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี (PERCH-CIC) ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการสนับสนุนในด้านห้องปฏิบัติการเคมี เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ สารเคมี และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ และอำนวยความสะดวกในการทำปฏิบัติการ และขอขอบคุณโรงน้ำตาลมิตรผล จังหวัดอำนาจเจริญ ที่ให้ความอนุเคราะห์เถ้าชานอ้อยในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

อรพันธ์ อันติมานนท์ และวีระศักดิ์ จงสู่วิวัฒนวงศ์. (2557). สารตะกั่ว: ผลกระทบต่อสุขภาพจากอาชีพและสิ่งแวดล้อม. *วารสารควบคุมโรค, 40*(1), 1-28.

รสนา ธานีรัตน์ และเมตตา เจริญพานิช. (2545). การสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Y จากเถ้าลอยของถ่ายหินลิกไนต์และประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยา. *วิศวกรรมสาร มก, 16*(47), 150-160.

Flora, G., Deepesh, G. and Archana, T. (2012). Toxicity of lead: a review with recent updates. *Interdiscip Toxicol, 5*(2), 47-58. https://doi.org/10.2478/v10102-012-0009-2.

Gupta, V. K. and Sharma, S. (2003). Removal of zinc from aqueous solutions using bagasse fly ash-a low-cost adsorbent. *Industrial & Engineering Chemistry Research, 42*(25), 6619-6624. https://doi.org/10.1021/ie0303146.

Hashemian, S., Seyed, H., Hamila, S. and Khaterah, S. (2013). Adsorption of Fe (III) from aqueous solution by Linde Type-A zeolite. *American Journal of Analysis Chemistry*, *4*(7), 123-126. DOI: 10.4236/ajac. 2013.47A017.

Tao, H. C., Zhang, H. Z., Li, J. B. and Ding, W. Y. (2015). Biomass based activated carbon obtained from sludge and sugarcane bagasse for removing lead ion from wastewater. *Bioresour Technol, 192*, 611-617. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.006.

Momčilović, M., Purenović, M., Bojić, A., Aleksandra Z. and Marjan, R. (2011). Removal of lead (II) ions from aqueous solutions by adsorption onto pinecone-activated carbon. *Desalination, 276*(1-3), 53-59. https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.03.013.

Townsend, R. P. and Coker, E. N. (2001). Chapter 11 Ion exchange in zeolites. *Studies in Surface Science and Catalysis, 137*, 467-524. https://doi.org/10.1016/S0167-2991(01)80253-6.