การสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ จากเถ้าชานอ้อยและการประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับที่มีศักยภาพสำหรับการกำจัดสีย้อมมาลาไคท์ กรีน

Synthesis of Zeolite A from Sugarcane Bagasse Ash and Its Application As a Potential Adsorbent for Removal of Malachite Green Dye

ดรุณี สุขชิต[1] จิราวรรณ เกาะม่วงหมู่[1] วาสนา สร้อยลา[1] ภัทร์ลดา บุญสิงห์[1] ศศิธร แสนยากรณ์[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] นรรฏฐวรรณ ประสงค์ธรรม[5] และ พรพรรณ พึ่งโพธิ์[1*]
Darunee Sukchit[1], Jirawan Komuangmu[1], Wassana Soila[1], Patlada Boonsing[1], Sasithorn Saenyagorn[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

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เถ้าชานอ้อยโรงน้ำตาล เป็นแหล่งซิลิกอนที่มีต้นทุนต่ำในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ ซึ่งใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับการประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมมาลาไคท์ กรีน โดยศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ ที่มีอัตราส่วน เถ้า:NaOH แตกต่างกัน ได้แก่ อัตราส่วน 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 ซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์ได้ถูกนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์โดยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF) ได้รับการยืนยันว่าอัตราส่วน เถ้า:NaOH เท่ากับ 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 เป็นซีโอไลต์ เอ จากนั้นซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้นำมาใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับการกำจัดสีย้อมมาลาไคท์ กรีน จากสารละลายน้ำ ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับด้วยระบบแบทช์ ทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ จากผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับ สีย้อมมาลาไคท์ กรีน ของอัตราส่วน เถ้า:NaOH 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 เท่ากับ 97.9, 97.1, 98.0, และ 96.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณของซีโอไลต์ เอ ที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ที่อัตราส่วนต่าง ๆ คือ 4 กรัมต่อลิตร ดังนั้น ซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์ได้จากซิลิกาจากเถ้าชานอ้อยจึงถูกนำมาใช้เป็นตัวดูดซับที่มีศักยภาพสำหรับการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: เถ้าชานอ้อย ซีโอไลต์ เอ สีย้อมมาลาไคท์ กรีน

Abstract

This research aims to utilize sugarcane bagasse ash from sugar mills as a low-cost silicon source for the synthesis of zeolite A, used as an adsorbent for the removal of malachite green dye application. The synthesis of zeolite A with different ash:NaOH ratios including 1:1, 1:1.2, 1:1.5, and 1:2 was evaluated. The synthesized zeolite A was identified through X-ray fluorescence techniques (XRF), to confirm that the ratios of ash:NaOH (1:1.2 to 1:2) are zeolite A. The synthesized zeolite A was then used as an adsorbent for the removal of malachite green from aqueous solutions. A batch system was applied to study the adsorption efficiency. The optimum parameters were studied, namely, the amount of adsorbent. The results showed that the adsorption efficiency for the malachite green of ash:NaOH ratios = 1:1, 1:1.2, 1:1.5, and 1:2 was 97.9, 97.1, 98.0, and 96.7 percent, respectively. The optimal amount of zeolite A for the adsorption of malachite green at different ratios was 10 g/L. Therefore, zeolite A synthesized from sugarcane bagasse ash-based silica has the potential for application as an adsorbent for dye removal in industrial wastewater.

Keywords: Sugarcane Bagasse Ash, Zeolite A, Malachite Green

บทนำ

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมประเภทที่มีการใช้น้ำและสารเคมีจำนวนมาก ปัญหาใหญ่ที่พบและนับว่ามีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม คือ การปล่อยน้ำเสียจากโรงงานลงสู่สิ่งแวดล้อม น้ำเสียที่ปล่อยออกมาประกอบด้วย สีย้อม, กรด-ด่าง, สารแขวนลอย, ความร้อน และอื่น ๆ ซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดการทำลายทัศนียภาพสารส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมนั้นมาจากกระบวนการย้อมสี (Dyeing) ผลเสียที่เกิดขึ้นจากสีนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้วยังลดอัตราการนำเข้าของออกซิเจนที่เข้าสู่ผิวหน้าของแหล่งน้ำและบดบังปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกลงสู่ผิวน้ำทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง ทำให้สัตว์น้ำอาจตายได้ (ขนิษฐา, 2549) ดังนั้นน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเหล่านี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมมีหลายวิธี เช่น กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ การตกตะกอน และการแยกด้วยเมมเบรน เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้มีข้อจำกัดในการใช้งานที่ต่างกัน และไม่สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการดูดซับเป็นอีกหนึ่งวิธีที่เป็นที่นิยม เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้ต้นทุนต่ำ การดำเนินงานไม่ซับซ้อน ใช้เวลาน้อยในการบำบัด และที่สำคัญคือมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง ตัวดูดซับที่นิยมใช้ คือ ถ่านกัมมันต์ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูง อย่างไรก็ตาม ถ่านกัมมันต์มีราคาค่อนข้างแพง จึงมีการนำเอาวัสดุดูดซับจากธรรมชาติหรือวัสดุที่มีต้นทุนในการผลิตที่ถูกกว่าและมีประสิทธิภาพสูงมาใช้เป็นตัวดูดซับที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

เถ้าเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งโดยส่วนใหญ่เถ้าถูกนำเอามาใช้ในการผลิตเป็นวัสดุในอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่มีคุณภาพสูง (สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, 2555) ซึ่งในกระบวนการนำมาใช้ในประเทศไทยยังมีข้อจำกัดและยังเป็นเทคโนโลยีในการนำไปใช้ แต่อย่างไรก็ตามยังคงนำเอามาใช้น้อยยังไม่ได้รับความหลากหลาย เถ้าชานอ้อยเป็นของเสียที่ได้จากการผลิตน้ำตาลของโรงน้ำตาล ซึ่งมีปริมาณมากจึงทำให้ยากต่อการกำจัด และจากการศึกษางานวิจัยอื่น ๆ พบว่าเถ้าชานอ้อยที่เกิดจากการเผาไหม้มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากเถ้าชานอ้อยยังคงมีการพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะซีโอไลต์ เนื่องจากมีรูพรุนสูง เสถียรทางความร้อน และมีความสามารถ

ในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ (Elboughdiri, 2020) ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาลที่เกิดจากการเผาไหม้ชานอ้อยมาสังเคราะห์เป็นซีโอไลต์ เอ เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเถ้าชานอ้อย

ซีโอไลต์ คือ สารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicates) โดยหน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอน (Si) หรืออะลูมิเนียม (Al) หนึ่งอะตอมสร้างพันธะกันกับออกซิเจน (O) สี่อะตอม (SiO_4 หรือ AlO_4) เรียงต่อกันเป็นรูปทรงสี่หน้า (tetrahedron) โดยอะตอมของซิลิกอนหรืออะลูมิเนียมอยู่ตรงกลางและล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ ซึ่งโครงสร้างทรงสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุมโดยการใช้ออกซิเจนร่วมกัน ก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุลที่เชื่อมต่อกับอย่างเป็นระเบียบในสามมิติ ทำให้ซีโอไลต์เป็นผลึกแข็ง ทำให้เกิดรูพรุน และช่องว่างหรือโพรงเกิดขึ้น และยังสามารถที่จะเติมโลหะทรานซิชันเข้าไปในโพรงหรือแทนที่อะตอมของซิลิกอนและอะลูมิเนียมได้ (Yingwei et al., 2022)

จากที่กล่าวข้างต้นจึงทำให้ ซีโอไลต์มีสมบัติที่หลากหลาย ดังนั้นซีโอไลต์จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวดูดซับในการกำจัดสีย้อมที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถสังเคราะห์ได้ง่าย โครงสร้างมีรูพรุนและและยังสามารถให้ความสามารถในการดูดซับได้ดี มีต้นทุนในการผลิตไม่สูง เมื่อเทียบกับตัวดูดซับชนิดอื่น เช่น ถ่านกัมมันต์ที่มีต้นทุนในการผลิตสูงเมื่อเทียบกับซีโอไลต์ (Yuhan et al., 2022) ดังนั้นจึงมีการนำเอาวัสดุดูดซับธรรมชาติหรือวัสดุที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ และมีประสิทธิภาพสูงมาใช้เป็นตัวดูดซับในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีประสิทธิภาพและถือเป็นการนำวัสดุทางธรรมชาติมาเพิ่มมูลค่า ในงานวิจัยนี้นำเถ้าจากโรงงานน้ำตาลมาใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ และนำซีโอไลต์ที่สังเคราะห์มาประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับในการกำจัดสีย้อมมาลาไคท์ กรีน โดยจะทำการศึกษาหาประสิทธิภาพการดูดซับและพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณของตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับเพื่อนำไปประยุกต์ในการกำจัดสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ในสารละลายน้ำ

วิธีการวิจัย

1. การสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ จากเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาล ที่มีอัตราส่วน เถ้า:NaOH แตกต่างกัน และพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRF

1.1 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ ที่มีอัตราส่วน เถ้า:NaOH แตกต่างกัน จากเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาล จังหวัดอำนาจเจริญ

การเตรียม Si-Source ชั่งเถ้าชานอ้อย และชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนเถ้าต่อปริมาณด่าง 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 บดรวมกันให้ละเอียด เทใส่ถ้วยกระเบื้องจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 90 นาที การเตรียม Al-Source ชั่ง Sodium aluminate 7.39 กรัม และ น้ำ DI 82.76 กรัม (Wenxin et al., 2020) ลงในขวดพลาสติกแล้วนำไปกวนเพื่อให้สารละลายเข้ากัน จากนั้นผสม Si-Source และ Al-Source เมื่อ Si-Source เย็นตัวลงให้นำ Al-Source หยดลงไปใน Si-Source พร้อมกวนสารละลายให้เข้ากัน เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำออกจากตู้อบแล้วทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงเพื่อล้าง ซีโอไลต์ เอ ให้เป็นกลาง จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จะได้ซีโอไลต์ เอ

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

2. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายมาตรฐานสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ด้วยซีโอไลต์ เอ สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาล จังหวัดอำนาจเจริญ

2.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ก่อนการดูดซับด้วยซีโอไลต์ เอ สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาล ที่มีอัตราส่วน เถ้า:NaOH แตกต่างกัน

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI จนครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ทำ 3 ซ้ำ) แล้วนำสารละลายมาตรฐานสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Vis Spectroscopy และคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

2.2 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสีย้อมมาลาไคท์ กรีน หลังการดูดซับด้วยซีโอไลต์ เอ สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาล

ชั่งซีโอไลต์ เอ มา 0.50 กรัม ปิเปตสารละลายมาตรฐานสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 25 มิลลิลิตร กวนสาร 30 วินาที โดยใช้เวลาดูดซับ 60 นาที เมื่อครบ 60 นาที นำไปกรองด้วยกระดาษเบอร์ 1 นำสารละลายไปวัดหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Vis Spectroscopy และนำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นจากสมการเส้นตรงทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3. การศึกษาปริมาณของซีโอไลต์ เอ สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาล ที่เหมาะสมในการดูดซับสารละลายมาตรฐานสีย้อมมาลาไคท์ กรีน

3.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ก่อนการดูดซับ ด้วยซีโอไลต์ เอ สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาล จังหวัดอำนาจเจริญ

ปิเปตสารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร มา 25.00 มิลลิลิตร (ทำ 3 ซ้ำ) แล้วนำสารละลายมาตรฐานสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Vis Spectroscopy และคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย

3.2 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสีย้อมมาลาไคท์ กรีน หลังการดูดซับ ด้วยซีโอไลต์ เอ สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาล จังหวัดอำนาจเจริญ

ชั่งซีโอไลต์ เอ มา 0.4, 2.0, 4.0, 8.0, 20.0 และ 40.0 กรัมต่อลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 25 มิลลิลิตร จากนั้นกวนสารเป็นเวลา 30 วินาที และเวลาในการดูดซับ 60 นาที เมื่อครบ 60 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Visible Spectroscopy และนำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นจากสมการเส้นตรง ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

ผลการวิจัย

1. การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเถ้าชานอ้อย และซีโอไลต์ เอ

เทคนิค X-Ray Fluorescence (XRF) ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของเถ้าชานอ้อย และซีโอไลต์ เอ สามารถวิเคราะห์ได้ด้วย XRF แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ X-ray fluorescence (XRF) ของเถ้าชานอ้อย และซีโอไลต์ เอ

องค์ประกอบทางเคมี	เถ้าชานอ้อย (%)	ซีโอไลต์ เอ (%) เถ้า:NaOH 1:1	ซีโอไลต์ เอ (%) เถ้า:NaOH 1:1.2	ซีโอไลต์ เอ (%) เถ้า:NaOH 1:1.5	ซีโอไลต์ เอ (%) เถ้า:NaOH 1:2
SiO_2	74.90	44.50	43.20	41.9	39.6
Al_2O_3	5.02	35.00	36.50	36.9	36.5
Na_2O	-	13.50	13.40	14.5	17.5
MgO	2.53	1.45	1.48	1.16	1.41

องค์ประกอบทางเคมี	เถ้าชานอ้อย (%)	ซีโอไลต์ เอ (%) เถ้า:NaOH 1:1	ซีโอไลต์ เอ (%) เถ้า:NaOH 1:1.2	ซีโอไลต์ เอ (%) เถ้า:NaOH 1:1.5	ซีโอไลต์ เอ (%) เถ้า:NaOH 1:2
K_2O	5.88	1.10	1.20	1.17	0.88
CaO	4.20	3.12	3.12	3.11	2.78
P_2O_5	2.76	0.11	0.08	0.07	0.09
Fe_2O_3	1.85	0.72	0.57	0.61	0.60

จากผลตารางที่ 1 พบว่า เถ้าชานอ้อยมีปริมาณ SiO_2 สูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 74.90 โดยน้ำหนักรองลงมา คือ K_2O ร้อยละ 5.88 Al_2O_3 ร้อยละ 5.02 CaO ร้อยละ 4.20 นอกจากนั้นยังพบธาตุองค์ประกอบอื่น ๆ ปะปนเล็กน้อย และจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของซีโอไลต์ เอ แต่ละอัตราส่วนพบว่า มีปริมาณ SiO_2 สูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 39-45 โดยน้ำหนักรองลงมา คือ Al_2O_3 ร้อยละ 35-37 และ Na_2O ร้อยละ 13-17 พบว่า SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นองค์ประกอบหลักของซีโอไลต์ เอ ในกระบวนการฟิวชัน NaOH ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น Si และ Al ในเถ้า ซึ่งส่งผลก่อให้เกิดซิลิเกตและอะลูมิเนตที่ละลายน้ำได้ เพื่อผลิตซิลิกอนและอลูมิเนียมที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งช่วยในการก่อตัวของซีโอไลต์ เอ และมีส่วนช่วยในการตกผลึกของซีโอไลต์ เอ ในปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล

ตารางที่ 2 อัตราส่วน SiO_2/Al_2O_3 ของซีโอไลต์ เอ

อัตราส่วน เถ้า:NaOH	SiO_2/Al_2O_3
ซีโอไลต์ (เถ้า:NaOH= 1: 1)	1.27
ซีโอไลต์ เอ (เถ้า:NaOH = 1: 1.2)	1.18
ซีโอไลต์ เอ (เถ้า:NaOH= 1: 1.5)	1.13
ซีโอไลต์ เอ (เถ้า:NaOH= 1: 2)	1.08

จากผลตารางที่ 2 พบว่า อัตราส่วน เถ้า:NaOH 1:1 มีอัตราส่วน SiO_2/Al_2O_3 เท่ากับ 1.27 ซึ่งอัตราส่วนนี้ ไม่อยู่ในช่วงของซีโอไลต์ เอ เนื่องจากอัตราส่วน SiO_2/Al_2O_3 ของซีโอไลต์ เอ เท่ากับ 1-1.25 (Belviso et al., 2014) และจากผลอัตราส่วน เถ้า: NaOH เท่ากับ 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 อยู่ในช่วงอัตราส่วน SiO_2/Al_2O_3 ที่เป็นซีโอไลต์ เอ ดังแสดงในตารางที่ 2 จึงยืนยันได้ว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้เป็นซีโอไลต์ เอ ดังนั้น อัตราส่วน เถ้า:NaOH ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ คือ 1:1.2 เนื่องจากอยู่ในช่วงอัตราส่วน SiO_2/Al_2O_3 ที่เป็นซีโอไลต์ เอ และยังใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์น้อยที่สุด ช่วยลดการใช้สารเคมีได้

2. การศึกษาประสิทธิภาพของซีโอไลต์ เอ สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาล จังหวัดอำนาจเจริญ ที่อัตราส่วน เถ้า: NaOH แตกต่างกัน ในการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน

2.1 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ด้วยซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า: NaOH แตกต่างกัน

การทดลองศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับปริมาณ 20 กรัมต่อลิตร ในการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ที่ความเข้มข้น 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยซีโอไลต์ จากผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วน เถ้า:NaOH เท่ากับ 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 มีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน เท่ากับ 97.9 ± 0.4, 97.1 ± 0.4, 98.0 ± 0.2 และ 96.7 ± 1.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงดัง ตารางที่ 3 อัตราส่วนของ เถ้า:NaOH มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน เนื่องจาก NaOH

ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น Si และ Al ในเถ้า ส่งผลก่อให้เกิดซิลิเกตและอะลูมิเนตที่ละลายน้ำได้ เพื่อผลิตซิลิกอนและอลูมิเนียมที่มีความเข้มข้นสูงช่วยในการก่อตัว และมีส่วนช่วยในการตกผลึกของซีโอไลต์ เอ ในปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งจะเกิดอันตรกิริยาขึ้นโดยซีโอไลต์จะมีอะลูมิเนียมในโครงสร้างทำให้เกิดเป็นประจุลบ จึงสามารถดูดซับกับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ที่มีประจุบวกได้

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ของซีโอไลต์ เอ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH ต่าง ๆ

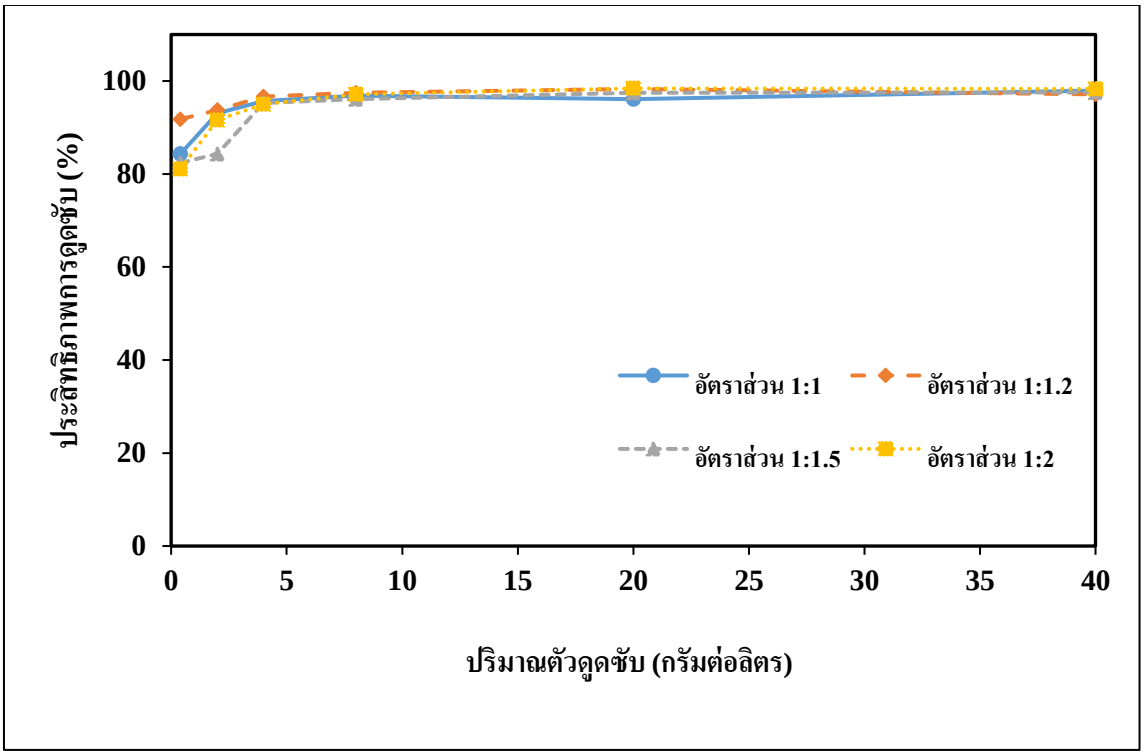
อัตราส่วน เถ้า:NaOH	ประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ย (%) ±S.D.
1:1	97.9 ± 0.4
1.1.2	97.1 ± 0.4
1:1.5	98.0 ± 0.2
1:2	96.7 ± 1.4

2.2 การศึกษาปริมาณการดูดซับที่เหมาะสมของซีโอไลต์ เอ สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาล จังหวัดอำนาจเจริญ ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH แตกต่างกัน ในการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน

การศึกษาปริมาณของซีโอไลต์ เอ ที่เหมาะสม ที่อัตราส่วน เถ้า:NaOH ต่างๆ ในการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน โดยปริมาณซีโอไลต์ เอ ที่ศึกษาคือ 0.4, 2.0, 4.0, 8.0, 20.0, และ 40.0 กรัมต่อลิตร ในการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ที่ความเข้มข้น 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการดูดซับดังตารางที่ 4 และภาพที่ 1

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน จากสารละลายมาตรฐาน

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม/ลิตร)	ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน (%)			
	เถ้า:NaOH = 1:1	เถ้า:NaOH = 1:1.2	เถ้า:NaOH = 1:1.5	เถ้า:NaOH = 1:2
0.4	84.3	91.8	82.4	87.2
2.0	93.1	93.8	84.4	94.3
4.0	95.7	96.7	95.3	96.6
8.0	96.9	97.5	96.1	98.0
20.0	96.1	98.3	97.5	98.9
40.0	98.0	97.1	97.6	98.8



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน จากสารละลายมาตรฐาน

3. ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับที่เหมาะสมของซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยโรงน้ำตาล จังหวัดอำนาจเจริญ แสดงดังภาพที่ 1 พบว่า เมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักตัวดูดซับ เมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้นจาก 0.4 เป็น 4.0 กรัมต่อลิตร ของซีโอไลต์ เอ ที่มีอัตราส่วน เถ้า:NaOH แตกต่างกัน มีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากช่วง 80 เปอร์เซ็นต์ เป็น 97 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจาก 4.0 ถึง 40.0 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทุกอัตราส่วน พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากโมเลกุลของสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ถูกดูดซับเกือบหมดแล้ว ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณของซีโอไลต์ เอ มากกว่า 4 กรัมต่อลิตร จึงไม่มีผลต่อการดูดซับ ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับของซีโอไลต์ เอ ที่มีอัตราส่วน เถ้า:NaOH แตกต่างกัน คือ 4.0 กรัมต่อลิตร หรือ 0.10 กรัม โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ในช่วง 95-97 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน จากสารละลายเริ่มเข้าสู่สมดุล

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ จากเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาล ที่มีอัตราส่วน เถ้า:NaOH แตกต่างกันตั้งแต่ 1:1-1:2 ซีโอไลต์ เอ นำมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้ อัตราส่วน เถ้า:NaOH เท่ากับ 1:1.2-1:2 ได้รับการยืนยันว่าเป็นซีโอไลต์ เอ ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน บนซีโอไลต์ที่มีอัตราส่วน เถ้า:NaOH เท่ากับ 1:1, 1:1.2, 1:1.5 และ 1:2 มีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 97.9, 97.1, 98.0, และ 96.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมของซีโอไลต์ เอ แต่ละอัตราส่วน คือ 4 กรัมต่อลิตร และเวลาในการดูดซับ 60 นาที แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าตัวดูดซับซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์

จากเถ้าชานอ้อยจากโรงน้ำตาลที่เป็นวัสดุต้นทุนต่ำมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมประจุบวก และจะทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ ไอโซเทอร์มการดูดซับ จลนพลศาสตร์การดูดซับ และอุณหพลศาสตร์การดูดซับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยบริหารจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) (PMU-C); Project No.185379 ขอขอบคุณโครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) (SCA-CO-2565-17147-TH) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาแก่ นางสาวดรุณี สุขชิต และส่งเสริมให้เกิดความร่วมมือในการทำวิจัย 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 และอำนวยความสะดวกต่างๆ ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ และอำนวยความสะดวกในการทำปฏิบัติการ และขอขอบคุณโรงน้ำตาลมิตรผล จังหวัดอำนาจเจริญ ที่ให้ความอนุเคราะห์เถ้าชานอ้อยในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

ขนิษฐา. (2549, 16 มกราคม). *สีย้อมในอุตสาหกรรมฟอกย้อม.* สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). https://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php? bookID=370&read=true

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย. (2555). *การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝกและวัสดุธรรมชาติเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างต้นทุนต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม.* https://thaitca.or.th/wp-content/uploads/2020/04/journal17.pdf

Belviso, C., Cavalcante, F. and Gennaro Di, S. (2014). Removal of Mn from aqueous solution using fly ash and its hydrothermal synthetic zeolite. *Journal of Environmental Management*, *137*, 16-22. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.040.

Elboughdiri, N. (2020). The use of natural zeolite to remove heavy metals Cu (II), Pb (II) and Cd (II), from industrial wastewater. *Cogent Engineering, 7*(1), 1782623. http://doi.101080/23311916.20201782623.

Wenxin, J., Ning, F., Pengde, Z., Shiyue, Z., Shasha, Z., Liping, L., Honglan, H., Kangning, L., Yonggang, S., Yuanyuan, L. and Yulong, M. (2020). Synthesis of single-phase zeolite a by coal gasification fine slag from ningdong and its application as a high-efficiency adsorbent for Cu^{2+} and Pb^{2+} in simulated waste water. *Chemical Engineering Journal, 4*(4)*, 65.* http://doi.org/10.3390/chemengineering4040065.

Yingwei, L., Baozhong, M., Yubo, L., Chengyan, W. and Yongqiang, C. (2022). Adsorption behavior and mechanism of mixed heavy metal ions by zeolite adsorbent prepared from lithium leach residue. *Microporous and Mesoporous Materials*, 329, 111553. https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2021.111553.

Yuhan, H., Min, L., Yuexin, G., Bo, R., Xiaojia, L. and Lin, Z. (2022). A facile method to synthesize highly uniform zeolite A at near room temperature for copper (II) removal. *Materials Today Communications, 30*, 103046. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.103046.