# การสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู

# Synthesis of Zeolite A From Power Plant Fly Ash and Its Application for Adsorption of Methylene Blue

จิราวรรณ เกาะม่วงหมู่[1] วาสนา สร้อยลา[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*]

Jirawan Komuangmu[1], Wassana Soila[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 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย
[4]ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านคาตาไลซิสและวิศวกรรมปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
[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**

งานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ โดยใช้ซิลิกาจากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ ที่อุณหภูมิฟิวชันที่แตกต่างกันตั้งแต่ 500-600 องศาเซลเซียส พิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ คือ 500 องศาเซลเซียส ซีโอไลต์ เอ ที่ได้จากอุณหภูมิฟิวชันต่าง ๆ จะนำไปใช้เป็นตัวดูดซับในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู โดยศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ที่ความเข้มข้นสารละลายสีย้อมเมทิลีน บลู เริ่มต้น 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ คือ 8.0 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ที่อุณหภูมิฟิวชั่น 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส คือ 76.4, 77.6 และ 80.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่าซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้าเป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูง และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถใช้สำหรับการกำจัดสีย้อมประจุบวกจากสารละลายและเป็นตัวดูดซับที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

**คำสำคัญ**: เถ้าลอย สีย้อมเมทิลีน บลู ซีโอไลต์ เอ

**Abstract**

This research was the synthesis of zeolite A using silica from power plant fly ash**.** The synthesis of zeolite A with different fusion temperature ranges of 500 to 600 °C was evaluated. The synthesized zeolite A was identified through X-ray fluorescence techniques (XRF). The results showed that the optimum fusion temperature for zeolite A synthesis is 500 °C. The synthesized zeolite A obtained from different fusion temperatures was then used as an adsorbent for the removal of methylene blue. The efficiency of methylene blue adsorption at the initial concentration of 100.0 mg/l, and dosage of 8.0 g/L was evaluated. The adsorption efficiency of fly ash prepared from different fusion temperature at 500, 550 and 600 °C were 76.48, 77.69, and 80.83 percent, respectively. The study show that zeolite A synthesized from power plant fly ash is a highly efficient adsorbent material with low production costs for the removal of cationic dye from aqueous solution and an environmentally friendly absorbent.

**Keywords**: Fly Ash, Methylene Blue, Zeolite A

**บทนำ**

ปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกปี ส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย จากการปล่อยน้ำในกระบวนการฟอกย้อมลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ปัญหาน้ำเสียจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีผลกระทบเป็นวงกว้าง ในส่วนของการฟอกย้อมซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีและสีย้อมเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเส้นใย กระบวนการดังกล่าวจะใช้น้ำในปริมาณมาก นอกจากนี้ปัญหาที่พบคือโรงงานอุตสาหกรรมไม่ได้ทำการบำบัดน้ำเสียที่มีสารเคมี และความเข้มข้นของสีเจือปนอยู่ในปริมาณมากก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (อภิวัชร์และคณะ, 2564) การบำบัดสีย้อมในปัจจุบันมีหลายเทคนิค ได้แก่ การสร้างตะกอน (Coagulation) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดี แต่มีการใช้สารเคมีปริมาณมาก อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายและขั้นตอนในการบำบัดตะกอนที่เกิดขึ้นด้วย การแยกด้วยไฟฟ้า (Electrolysis) มีประสิทธิภาพดีมาก แต่ต้องมีการบำรุงรักษาเครื่องมืออย่างต่อเนื่องและอาจต้องมีการกำจัดไอออนของโลหะที่เป็นขั้วไฟฟ้าที่ตกค้างทิ้งด้วย กระบวนการโอโซนเนชั่น (Ozonation) มีประสิทธิภาพสูงและใช้เวลาน้อยในการกำจัดสีย้อม แต่เป็นเทคนิคที่มีค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งและการผลิตแก๊สโอโซน และการดูดซับ (Adsorption) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงไม่ทำให้เกิดสารตกค้างของสารเคมีในแหล่งน้ำหลังจากการบำบัด วัสดุดูดซับสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ง่ายในการนำไปประยุกต์ใช้ และต้นทุนต่ำ ดังนั้นการเตรียมวัสดุดูดซับถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เพราะหาได้ง่าย ราคาถูก และช่วยลดปริมาณขยะในชุมชนอีกด้วย (พัชรนันท์และคณะ, 2563)

เถ้าลอย เป็นเถ้าที่หลงเหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของถ่านหินหรือลิกไนต์ มีขนาดเล็ก และละเอียดมาก ประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ ($SiO_2$) เป็นองค์ประกอบหลัก (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.; ณิชชา, 2559) เถ้าลอยได้ถูกนำมาเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยที่มีปริมาณซิลิกา และอะลูมินาค่อนข้างสูง นอกจากนี้การแปรสภาพเป็นวัสดุซีโอไลต์ยังเป็นการเพิ่มคุณค่าของเถ้าลอยที่เป็นวัสดุเหลือทิ้ง และช่วยลดปริมาณของเถ้าลอยที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางด้านมลภาวะในอากาศ โดยการศึกษาที่สภาวะต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิฟิวชัน

ในงานวิจัยนี้สนใจสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ ที่อุณหภูมิฟิวชันที่ 500-600 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู เนื่องจากซีโอไลต์ เอ สามารถสังเคราะห์ได้ง่าย โครงสร้างมีรูพรุนและและยังสามารถให้ความสามารถในการ

ดูดซับได้ดี มีต้นทุนในการผลิตไม่สูง และทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู เพื่อจะได้นำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ชุมชน และน้ำเน่าเสียในอุตสาหกรรมต่อไป

**วิธีการวิจัย**

**1. การสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า และพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRF**

1.1 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า ที่อุณหภูมิฟิวชัน 500-600 องศาเซลเซียส

การสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า ชั่งเถ้าลอยโรงไฟฟ้า 20.00 กรัม ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20.00 กรัม บดผสมให้ละเอียด โดยใช้อุณหภูมิฟิวชันตั้งแต่ 500-600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที เมื่อครบเวลารอให้สารเย็นตัว ชั่งโซเดียมอะลูมิเนต 25.18 กรัม และน้ำปราศจากไอออน 311.28 กรัม ผสมรวมกันลงในขวด polypropylene กวนเป็นเวลา10 นาที นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา16 ชั่วโมง ครบเวลาที่กำหนดให้นำออกจากตู้อบนำมาล้าง เพื่อให้ซีโอไลต์ เอ เป็นกลาง จากนั้นนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ได้ซีโอไลต์ เอ

1.2 พิสูจน์เอกลักษณ์ของเถ้าลอยโรงไฟฟ้า และซีโอไลต์ เอ จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า ด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

**2. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายมาตรฐานสีย้อมเมทิลีน บลู ด้วยซีโอไลต์ เอ สังเคราะห์จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า**

2.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสีย้อมเมทิลีน บลู ก่อนการดูดซับด้วยซีโอไลต์ เอ สังเคราะห์จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสีย้อมเมทิลีน บลู ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI จนครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ทำ 3 ซ้ำ) แล้วนำสารละลายมาตรฐานสีย้อมเมทิลีน บลู ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Vis Spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร และคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

2.2 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสีย้อมเมทิลีน บลู หลังการดูดซับด้วยซีโอไลต์ เอ สังเคราะห์จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า

ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ชั่งปริมาณตัวดูดซับที่ 8.0 กรัมต่อลิตร โดยความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีน บลู 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร กวนสาร 30 วินาที เวลาในการดูดซับ 60 นาที กรองแล้วนำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Visible spectrophotometer ทำ 3 ครั้ง (ทุกอุณหภูมิฟิวชัน)

**ผลการวิจัย**

**1. การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเถ้าลอยโรงไฟฟ้า และซีโอไลต์ เอ**

เทคนิค X-Ray Fluorescence (XRF) ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของเถ้าลอยโรงไฟฟ้า และ ซีโอไลต์ เอ สามารถวิเคราะห์ได้ด้วย XRF แสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ผลการวิเคราะห์ X-Ray Fluorescence (XRF) ซีโอไลต์ เอ จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า ที่อุณหภูมิฟิวชัน 500-600 องศาเซลเซียส

| องค์ประกอบทางเคมี | เถ้าลอย (%) | ซีโอไลต์ เอ อุณหภูมิฟิวชัน 500 องศาเซลเซียส (%) | ซีโอไลต์ เอ อุณหภูมิฟิวชัน 550 องศาเซลเซียส (%) | ซีโอไลต์ เอ อุณหภูมิฟิวชัน 600 องศาเซลเซียส (%) |
|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 63.36 | 39.60 | 48.90 | 40.30 |
| $Al_2O_3$ | 21.92 | 35.70 | 41.80 | 37.30 |
| $Fe_2O_3$ | 5.03 | 2.35 | 3.02 | 2.02 |
| $K_2O$ | 1.48 | 0.55 | 0.60 | 0.51 |
| $TiO_2$ | 1.40 | 0.58 | 0.67 | 0.46 |
| CaO | 1.00 | 4.09 | 4.59 | 3.72 |
| MgO | 0.53 | 0.99 | - | 0.76 |
| $Na_2O$ | 0.33 | 15.80 | - | 14.80 |
| $P_2O_5$ | 0.33 | 0.10 | 0.10 | 0.07 |

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของเถ้าลอยโรงไฟฟ้า พิสูจน์เอกลักษณ์ได้ด้วย XRF พบว่ามีปริมาณ $SiO_2$ สูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 63.36 โดยน้ำหนักรองลงมา คือ $Al_2O_3$ ร้อยละ 21.92, $Fe_2O_3$ ร้อยละ 5.03 และ $K_2O$ ร้อยละ 1.48 นอกจากนั้นยังพบธาตุองค์ประกอบอื่น ๆ ปะปนเล็กน้อย และจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า ที่อุณหภูมิฟิวชันที่ต่างกัน ตั้งแต่ 500-600 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิฟิวชัน 500 องศาเซลเซียส มีปริมาณ $SiO_2$ สูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 39.60 โดยน้ำหนักรองลงมา คือ $Al_2O_3$ ร้อยละ 35.70, และ $Na_2O$ ร้อยละ 15.80 นอกจากนั้นยังพบธาตุองค์ประกอบอื่น ๆ ปะปนเล็กน้อย ที่อุณหภูมิฟิวชัน 550 องศาเซลเซียส มีปริมาณ $SiO_2$ สูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 48.90 โดยน้ำหนักรองลงมา คือ $Al_2O_3$ ร้อยละ 41.80 นอกจากนั้นยังพบธาตุองค์ประกอบอื่น ๆ ปะปนเล็กน้อย และที่อุณหภูมิฟิวชัน 600 องศาเซลเซียส มีปริมาณ $SiO_2$ สูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 40.30 โดยน้ำหนักรองลงมา คือ $Al_2O_3$ ร้อยละ 37.30, $Fe_2O_3$ ร้อยละ 2.02 และ $Na_2O$ ร้อยละ 14.80 นอกจากนั้นยัง พบธาตุองค์ประกอบอื่น ๆ ปะปนเล็กน้อย อาทิเช่น $K_2O$, $TiO_2$, CaO และ MgO แสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 2** อัตราส่วน $SiO_2/Al_2O_3$ ของซีโอไลต์ เอ

| อุณหภูมิฟิวชัน (°C) | $SiO_2/Al_2O_3$ |
|---|---|
| 500 | 1.11 |
| 550 | 1.17 |
| 600 | 1.08 |

จากองค์ประกอบของซีโอไลต์ เอ จะมีอัตราส่วนของ $SiO_2/ Al_2O_3$ คือ1 ถึง 1.25 ซึ่งจากผลการทดลองอุณหภูมิฟิวชั่น $SiO_2/Al_2O_3$ ที่อุณหภูมิฟิวชัน 500 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.11 ที่อุณหภูมิฟิวชัน 550 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.17 และ

ที่อุณหภูมิฟิวชัน 600 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.08 แสดงดังตารางที่ 2 ทุกอุณหภูมิฟิวชันอยู่ในช่วงซีโอไลต์ เอ จึงเลือกอุณหภูมิฟิวชัน 500 องศาเซลเซียส เพราะการใช้อุณหภูมิฟิวชัน ที่ต่ำจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า และยังสามารถสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ ได้เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิฟิวชันอื่น ๆ ซึ่งอัตราส่วน $SiO_2/Al_2O_3$ ของซีโอไลต์ เอ มีผลต่อการดูดซับ เนื่องจากในโครงสร้างของซีโอไลต์ เอ มีอลูมิเนียมภายในโครงสร้าง ทำให้เกิดประจุลบ จึงทำให้สามารถดูดซับสี Methylene blue ที่มีไอออนบวกได้ ที่อุณหภูมิฟิวชัน แตกต่างกัน ตั้งแต่ 500-600 องศาเซลเซียส

**2. การศึกษาประสิทธิภาพของซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู**

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ ปริมาณตัวดูดซับ 8.0 กรัมต่อลิตร ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ความเข้มข้น 100 มิลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิฟิวชัน ตั้งแต่ 500-600 องศาเซลเซียส พบว่าซีโอไลต์ เอ ที่อุณหภูมิฟิวชัน 500 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 76.4 ± 1.4 ที่อุณหภูมิฟิวชัน 550 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 77.6 ± 1.3 และ ที่อุณหภูมิฟิวชัน 600 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 80.8 ± 2.7 แสดงดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ด้วยซีโอไลต์ เอ ที่อุณหภูมิฟิวชัน 500-600 องศาเซลเซียส

| อุณหภูมิฟิวชัน (องศาเซลเซียส) | ประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ย(%) ±S.D. |
|---|---|
| 500 | 76.4 ± 1.4 |
| 550 | 77.6 ± 1.3 |
| 600 | 80.8 ± 2.7 |

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ด้วยซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า จังหวัดระยอง แสดงดังตารางที่ 3 ที่อุณหภูมิฟิวชัน 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่ามีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู เท่ากับ 76.5, 77.6 และ 80.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการฟิวชั่น เนื่องจากกระบวนการฟิวชันด้วยอัลคาไลน์ที่อุณหภูมิสูงจะช่วยดึงเอาส่วนประกอบ Si และ Al ในเถ้าลอยเปลี่ยนเป็นซิลิเกต และอะลูมิโนซิลิเกตได้ ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการฟิวชันด้วยอัลคาไลน์

**อภิปรายและสรุปผลการวิจัย**

การสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ ที่ได้จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้า ที่อุณหภูมิฟิวชัน 500-600 องศาเซลเซียส จากนั้นนำซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์ได้มาประยุกต์ใช้ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู เมื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์ เอ ด้วยเทคนิค XRF พบว่าซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิฟิวชัน 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส ยืนยันได้ว่าเป็นซีโอไลต์ เอ และอุณหภูมิฟิวชันที่เหมาะสมคือ 500 องศาเซลเซียส การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ปริมาณตัวดูดซับคือ 8.0 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีน บลู 100 มิลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับ 76-81 เปอร์เซ็นต์จากการศึกษาพบว่าซีโอไลต์ เอ ที่สังเคราะห์จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้าที่อุณหภูมิฟิวชันต่าง ๆ เป็นวัสดุตั้งต้นที่มีศักยภาพในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ และใช้ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู จากสารละลาย ที่มีประสิทธิภาพสูง มีต้นทุนต่ำ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และจะทำการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับ เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ ไอโซเทอมการดูดซับ 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 และขอขอบคุณโรงไฟฟ้าถ่านหิน จังหวัดระยอง ที่ให้ความอนุเคราะห์เถ้าลอยโรงไฟฟ้าในงานวิจัยนี้

**เอกสารอ้างอิง**

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (ม.ป.ป.). *การนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์.* https://mpp.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=89&Itemid=494

ณิชชา บูรณสิงห์. (2560, 7 กุมภาพันธ์). *ประโยชน์ของเถ้าลอยจากการผลิตกระแสไฟฟ้า: วัสดุทดแทนเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม*. รัฐสภาไทย. https://www.parliament.go.th/ewtadmin/ewt/parliament_parcy/ewt_dl_link.php?nid=37866&filename=house2558

พัชรนันท์ จันทร์พลอย, กฤติยาภรณ์ หลวงดี และนภารัตน์ จิวาลักษณ์. (2563). การดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ของถ่านเปลือกส้มโอที่เตรียมจาก การเผาแบบเตาลาน. *RMUTP Research*, *14*(1), 15-25.

อภิวัชร์ บุญกูลธนพัฒน์, กมลทิพย์ ดีบุกคำ และขวัญเนตร สมบัติสมภพ. (2564). การกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้วัสดุดูดซับท้องถิ่น. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, *17*(3), 16-27. http://doi.org/10.14416/j.ind.tech.2021.09.002.