



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การกำจัดสีย้อมบริลเลียน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและเถ้าลอย**Removal of brilliant green by kaolin and fly ash based geopolymer**สายสมร ล่ำลอง¹⁾, นวลใย บัวภา¹⁾, จักรวาท คงอ่อน¹⁾ และ พรพรรณ พึ่งโพธิ์¹⁾Saisamorn Lumlong¹⁾, Nuanyai Buapa¹⁾, Jakkrawut Kongon¹⁾ and Pornpan Pungpo¹⁾¹⁾ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี¹⁾ Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon ratchathani University

Received: 8 April 2022

Revised: 15 August 2022

Accepted: 17 August 2022

Available online: 23 December 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากเถ้าลอย จากนั้นใช้จีโอพอลิเมอร์ในการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน จากสารละลายในน้ำ ปริมาณที่เหมาะสมของจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากเถ้าลอยคือ 0.25 และ 0.25 กรัมต่อลิตร ส่วนเวลาในการดูดซับ เท่ากับ 360 และ 180 นาที โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับ 96.62 และ 96.61% ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมบริลเลียน กรีน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร การศึกษาจุลนาศาสตร์แสดงให้เห็นว่าการดูดซับของจีโอพอลิเมอร์ทั้งสองสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเหมือน จีโอพอลิเมอร์จากดินขาวไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 3 ครั้ง แสดงว่าจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยมีศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุดูดซับสำหรับการกำจัดสีย้อมบริลเลียน กรีน

คำสำคัญ: จีโอพอลิเมอร์ เถ้าลอย บริลเลียน กรีน ดินขาว**Abstract**

This research studied the synthesis of kaolin and fly ash based geopolymer. Geopolymer was used to adsorb brilliant green (BG) dye from aqueous solution. The suitable dosage of kaolin and fly ash based geopolymer were 0.25 and 0.25 g/L, the contact time were 360 and 180 minutes with the adsorption

efficiency 96.62 and 96.61% for initial BG concentration of 100 ppm, respectively. Kinetic study showed that the adsorption of both geopolymers were followed the pseudo-second order model. Kaolin based geopolymer cannot be regenerated. Fly ash based geopolymer can be regenerated 3 times. This suggested that geopolymer from fly ash showed the potential to be used as an adsorbent for brilliant green dye removal.

Keywords: Geopolymer; Fly ash; Brilliant green; Kaolin

*ติดต่อ: saisamorn.l@ubu.ac.th

1. บทนำ

มลพิษอันเนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนประชากรอย่างรวดเร็วและการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมส่งผลอย่างมากต่อการทำลายคุณภาพของน้ำ อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นสาเหตุหลักของการทำลายสิ่งแวดล้อม กระบวนการของอุตสาหกรรมสิ่งทอไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ หรือแม้กระทั่งการฟอกย้อม มีการใช้น้ำปริมาณมาก โดยน้ำที่ผ่านกระบวนการจากอุตสาหกรรมมักมีการแปรเปลี่ยนสภาพกลายเป็นน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียเหล่านั้นจะทำให้แหล่งน้ำที่สะอาดมีการปนเปื้อนอาทิเช่น สีย้อม โลหะหนัก สารช่วยย้อม ตัวทำละลายอินทรีย์ ทำให้เกิดปัญหาแหล่งน้ำเน่าเสียไปในที่สุด สีสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียส่งผลให้เกิดการลดลงของการลดผ่านของแสงในแม่น้ำ ลำคลอง กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำลดลง ทำให้อาหารของสัตว์น้ำลดลง [1-2] สีปรีดิเลียน กรีนจัดว่าเป็นสีประจุบวก (cationic dye) มีพิษเมื่อฉีดเข้าไปในมนุษย์และสัตว์ ผลกระทบอันตรายต่อมนุษย์โดยทั่วไป คือ การระคายเคืองต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อสัมผัสเป็นเวลานานจะส่งผลให้เกิดความเสียหายกับอวัยวะได้ [2]

จีโอพอลิเมอร์สามารถสังเคราะห์ได้จากวัสดุที่มีองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิกาและอะลูมินาในปริมาณสูง เช่น ดินขาว (kaolin) แถ่ลอย แถ่หนัก ทำปฏิกิริยากับสารละลายต่างเข้มข้น เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้าง 3 มิติ จีโอพอลิเมอร์จัดว่าเป็นวัสดุอุตสาหกรรม มีความแข็งแรงและสามารถรับกำลังอัดได้ทำให้มีสมบัติเทียบเท่าปูนซีเมนต์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง หรือ งานคอนกรีต การทำอิฐทนไฟ วัสดุตกแต่งเพื่อความสวยงาม การทำฟิวส์ เป็นต้น [3]

โรงงานไฟฟ้าแม่เมาะ เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่มีการใช้ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะเป็นเชื้อเพลิงประมาณวันละกว่า 40,000 ตัน การเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์จะได้เถ้าลิกไนต์ออกมาประมาณวันละ 10,000 ตัน ซึ่งในจำนวนนี้เป็นเถ้าลอยประมาณ 6,000 ตัน เถ้าลอยที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากถือเป็นขยะอันตรายที่มักส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์โดยเฉพาะในบริเวณใกล้เคียง เถ้าลอยลิกไนต์มีคุณสมบัติเป็นสารพิษไซลัน ซึ่งสารนี้เป็นวัสดุที่มีซิลิกา หรือ ซิลิกา และอะลูมินา เป็นองค์ประกอบหลัก การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้นำเถ้าลอยลิกไนต์โรงไฟฟ้าแม่เมาะไปใช้ใน

งานเป็นวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้าง และงานซ่อมแซมต่าง ๆ แทนวัสดุงานดินหลายประเภท เช่น งานก่อสร้างฐานราก และงานซ่อมแซมฐานรากสถานีไฟฟ้าแรงสูงแม่เมาะ งานก่อสร้างชั้นพื้นทางถนน งานลาดห่อ และลาดไหล่คลองส่งน้ำกันรั่วซึม เป็นต้น ปัจจุบันเถ้าลอยได้ถูกนำมาใช้เป็นสารผสมในคอนกรีตผสมเสร็จสำหรับงานก่อสร้าง และเป็นวัตถุดิบเสริมปูนซีเมนต์ในการผลิตวัสดุก่อสร้าง เช่น กระเบื้องมุงหลังคา เสาค้ำ ท่อ พื้นสำเร็จรูป เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมหลักในการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด [4-5] ได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มศึกษาการนำเถ้าลอยมาเป็นสารตั้งต้นเพื่อเพิ่มมูลค่าเถ้าลอย ยกตัวอย่างเช่น อภิสิทธิ์ โฆษิตชัยยงค์และคณะ [5] ศึกษาการนำเถ้าลอยมาใช้เป็นสารตัวเติมลดต้นทุนในผลิตภัณฑ์พอลิเอทิลีนที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการแบบแม่พิมพ์หมุนเหวี่ยง Junjie Feng et al. [6] ศึกษาการเตรียมจีโอพอลิเมอร์ที่มีรูพรุนและการนำความร้อนต่ำจากเถ้าลอยกับน้ำแก้วและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารทำให้เกิดฟอง พบว่าปริมาณน้ำแก้วและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นพารามิเตอร์หลักในการควบคุมรูพรุน ความหนาแน่น การนำความร้อนและสัณฐานวิทยาของรูพรุน สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์ คือ อุณหภูมิในการบ่ม ปริมาณน้ำแก้ว และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 55 องศาเซลเซียส 80 กรัม และ 6 กรัม ตามลำดับ วัสดุที่เตรียมได้จากสภาวะนี้มีความมีรูพรุน (porosity) ร้อยละ 79.9 ค่าการนำความร้อน 0.0744 W/mK และแรงกดอัด 0.82 MPa วัสดุนี้

มีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นฉนวนของผนังได้ Vinay Kumar Jha and Gautam Prasad Budhamagar [7] ศึกษาการเตรียมจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยและใช้ NaOH และ Na_2SiO_3 เป็นตัวกระตุ้นพบว่าสภาวะที่ให้ค่าแรงกดอัดที่สูงที่สุด คือ 6M NaOH อัตราส่วนของ Na_2SiO_3 ต่อเถ้าลอยเท่ากับ 1.25 และการเพิ่มเวลาในการบ่มที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้จีโอพอลิเมอร์ที่เตรียมได้มีค่าแรงกดอัดที่สูงขึ้น S M Fuad Kabir Moni et al. [8] ศึกษาการเตรียมคอนกรีตที่มาจากจีโอพอลิเมอร์โดยใช้เถ้าลอยและน้ำเสียจากการหล่อทรายที่มีฤทธิ์เป็นด่าง พบว่าจีโอพอลิเมอร์ที่เตรียมได้มีสมบัติดีกว่าคอนกรีตธรรมดา คือ มีแข็งแรงดี และมีรูพรุนต่ำ นอกจากนี้โฟมจีโอพอลิเมอร์มีศักยภาพในการแทนที่วัสดุฉนวนปกติ นอกจากนี้มีนักวิจัยนำจีโอพอลิเมอร์ หรือ จีโอพอลิเมอร์ที่มีการปรับปรุงผิวหน้า (surface modification) มาใช้ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู และ acid blue 185 [9-11]

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการเปรียบเทียบศักยภาพในการกำจัดสีย้อมบิลิเลี่ยน กรีน ของจีโอพอลิเมอร์ที่เตรียมจากดินขาว กับเถ้าลอยในแง่ของปริมาณ เวลาที่สัมผัส การนำจีโอพอลิเมอร์กลับมาใช้ซ้ำ เนื่องจากหากใช้ดินขาวจำเป็นต้องมีการเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อเตรียมเป็นเมตาเกอลิน (metakaolin) แต่หากใช้เถ้าลอยไม่จำเป็นต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง เป็นการลดค่าใช้จ่าย หากสามารถนำเถ้าลอยมาเตรียมเป็นจีโอพอลิเมอร์แล้วสามารถกำจัดสีย้อมบิลิเลี่ยน กรีน ได้ดีจะเป็นการเพิ่มมูลค่าเพิ่มให้กับเถ้าลอยและเป็นการแก้ปัญหาช่วยลดปริมาณเถ้าลอยอันเป็นขยะจากโรงงานไฟฟ้าได้

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมเมตาเกาลิน

นำดินขาวใส่ในถ้วยกระเบื้องปรับหน้าดินขาวให้สม่ำเสมอ จากนั้นทำการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำดินขาวเผาเสร็จแล้วมาทำการบดและร่อนด้วยตะแกรง 250 mesh เพื่อให้ดินขาวมีความละเอียดและพร้อมใช้งาน

2.2 การเตรียม water glass (น้ำแก้ว)

นำสารละลาย 8 โมลาร์ NaOH 8 มิลลิลิตร ผสมกับ Na_2SiO_3 12 มิลลิลิตร นำไปกวนให้สารละลายทั้งสองเป็นเนื้อเดียวกัน

2.3 การสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์

ชั่งดินขาวที่เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 20 กรัม ผสมกับน้ำแก้ว 20 มิลลิลิตร กวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำจีโอพอลิเมอร์ที่ผสมแล้วเทใส่แม่พิมพ์สี่เหลี่ยมขนาดเล็กจากนั้นคลุมแม่พิมพ์ด้วย wrapping film บ่มจีโอพอลิเมอร์เป็นเวลา 1 วัน และนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเตรียมจีโอพอลิเมอร์จากถั่วลยเหมือนกับจีโอพอลิเมอร์จากดินขาว

2.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีของตัวดูดซับ

ชั่งจีโอพอลิเมอร์ ใช้เวลาในการดูดซับสี 60 นาที ความเข้มข้นของสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 624 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้

$$\text{ประสิทธิภาพในการดูดซับสี} = \frac{(C_0 - C) \times 100}{C_0}$$

C_0 = ความเข้มข้นของสีเริ่มต้น

C = ความเข้มข้นของสีหลังดูดซับ

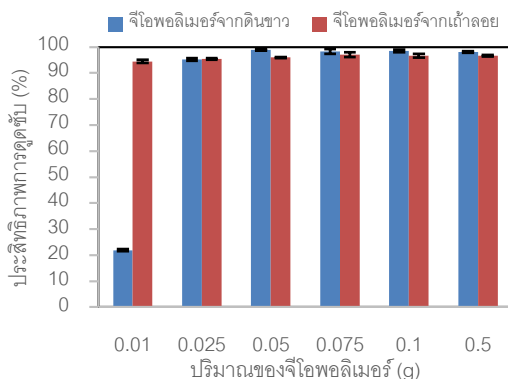
2.5 ศึกษาการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่

นำเอาจีโอพอลิเมอร์ที่ผ่านการดูดซับแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำเอาเตาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสีที่ย้อมบริเวณ กรีน แล้วทำเอาจีโอพอลิเมอร์ที่ผ่านการเผามาศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซ้ำโดยใช้ปริมาตรสี 25 มิลลิลิตร

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการศึกษาปริมาณในการดูดซับของจีโอพอลิเมอร์จากดินขาว โดยแปรปริมาณตัวดูดซับ 0.010, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100 และ 0.500 กรัมในการดูดซับสี ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เวลาในการดูดซับ 720 นาที พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 21.86, 95.16, 98.95, 98.30, 98.47 และ 98.08 % ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายสีเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีมากขึ้นและบริเวณที่เกิดการดูดซับมีสูงขึ้น โดยพื้นที่ผิวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของจีโอพอลิเมอร์มีผลทำให้ร้อยละการดูดซับสีของบิลเลเยนกรีน เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมากกว่า 0.025 กรัม พบว่าระบบเริ่มเข้าสู่สมดุล ทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับสี ย้อมมากกว่า 95% ดังนั้นปริมาณตัวดูดซับจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวที่เหมาะสมในการดูดซับสีของบิลเลเยน กรีน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร คือ 0.025 กรัม มีประสิทธิภาพดูดซับ 95.16%

จากการศึกษาปริมาณในการดูดซับของจีโอพอลิเมอร์จากถ้ำลอย โดยแปรปริมาณตัวดูดซับ 0.010, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100 และ 0.500 กรัม พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 94.46, 95.43, 95.96, 97.11, 96.72, 96.68 % ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายสีย้อมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของตัวดูดซับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีมากขึ้นและบริเวณที่เกิดการดูดซับมีสูงขึ้น โดยพื้นที่ผิวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของจีโอพอลิเมอร์มีผลทำให้ร้อยละการดูดซับสีย้อมบิลเลี่ยนกรีน เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมากกว่า 0.010 กรัม พบว่าระบบเริ่มเข้าสู่สมดุล ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมมากกว่า 90% เนื่องจากสีของสารละลายค่อนข้างเข้มที่ปริมาณตัวดูดซับ 0.010 กรัม ดังนั้นปริมาณตัวดูดซับจีโอพอลิเมอร์จากถ้ำลอยที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมบิลเลี่ยน กรีน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร คือ 0.025 กรัม มีประสิทธิภาพดูดซับสีย้อม 95.43 % เพราะสีของสารละลายจางมากกว่าเมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับ 0.010 กรัม



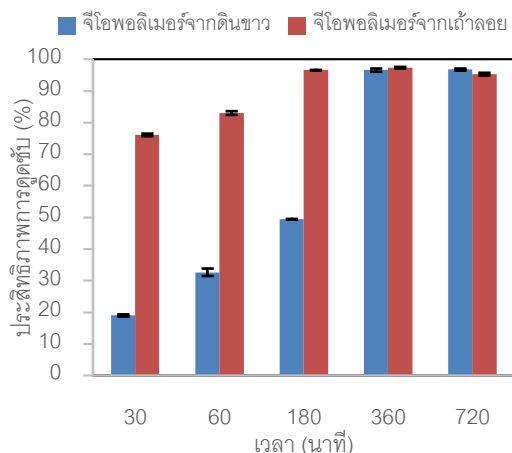
รูปที่ 1 ผลของปริมาณจีโอพอลิเมอร์ต่อการดูดซับสีย้อมบิลเลี่ยน กรีน

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายสีย้อมของจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและถ้ำลอยใกล้เคียงกัน ดังนั้นสามารถนำถ้ำลอยมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์แทนดินขาวได้

จากการศึกษาเวลาการดูดซับของจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวในการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลี่ยนกรีน โดยเวลาที่ใช้ในการดูดซับคือ 30, 60, 180, 360 และ 720 นาที พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 19.04, 32.65, 49.46, 96.62 และ 96.78% ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับประสิทธิภาพการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มเวลาในการดูดซับ ทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่ยังไม่ได้เกิดการดูดซับสารละลายสีย้อม บิลเลี่ยนกรีน เกิดการดูดซับเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับเป็น 180 นาที มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเท่ากับ 49.46% แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับเป็น 360 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 49.46% เป็น 96.62% และเมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับมากกว่า 360 นาที ประสิทธิภาพในการดูดซับของจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่เหมาะสมสำหรับจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวปริมาณ 0.025 กรัม คือ 360 นาที ซึ่งเป็นประสิทธิภาพในการดูดซับ 96.62%

จากการศึกษาเวลาการดูดซับของจีโอพอลิเมอร์จากถ้ำลอย ในการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลี่ยนกรีน โดยเวลาที่ใช้ในการดูดซับคือ 30, 60, 180, 360 และ 720 นาที พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 76.05, 83.10, 96.61, 97.30 และ 95.33% ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับประสิทธิภาพการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มเวลาในการดูดซับ ทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

ที่ยังไม่ได้เกิดการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลี่ยนกรีน และเกิดการดูดซับเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาเป็น 60 นาที มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเท่ากับ 83.10% เมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับเป็น 180 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 83.10% เป็น 96.61% และเมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับมากกว่า 180 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับของจีโอพอลิเมอร์จากถั่วลันเตาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่เหมาะสมสำหรับจีโอพอลิเมอร์จากถั่วลันเตาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่เหมาะสมสำหรับจีโอพอลิเมอร์จากถั่วลันเตาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่เหมาะสมสำหรับจีโอพอลิเมอร์จากถั่วลันเตาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



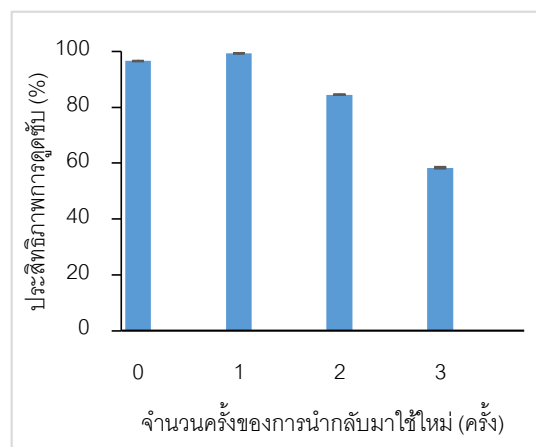
รูปที่ 2 ผลของเวลาในการดูดซับ

ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมบิลเลี่ยนกรีน

จีโอพอลิเมอร์จากถั่วลันเตามีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม 96.62% เมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม 21.36% แสดงว่าจีโอพอลิเมอร์จากถั่วลันเตาไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมลดลง

อย่างมาก ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองการดูดซับซ้ำเพียงครั้งเดียว

จีโอพอลิเมอร์จากถั่วลันเตามีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม 96.61% เมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1 มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม 99.39% เมื่อนำตัวดูดซับมาใช้ซ้ำครั้งที่ 2 ประสิทธิภาพในการดูดซับอยู่ที่ 84.50% และทำการดูดซับซ้ำครั้งที่ 3 มีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับอยู่ที่ 58.31% จะเห็นว่าประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้ใหม่ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ของจีโอพอลิเมอร์

จากถั่วลันเตากับประสิทธิภาพการดูดซับ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซ้ำของจีโอพอลิเมอร์จากถั่วลันเตาและจีโอพอลิเมอร์จากถั่วเขียวในการดูดซับสีย้อมบิลเลี่ยนกรีน โดยใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.025 กรัม ในการดูดซับสีย้อมความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 720 นาที พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนการดูดซับซ้ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุพัตรา บุตรเสรีชัย [12] ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดูดซับซ้ำของ

ถ้ำลอยในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อไม้กระดาษ พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการดูดซับซ้ำจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับต่ำลงเรื่อย ๆ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า จีโอพอลิเมอร์จากถ้ำลอยมีประสิทธิภาพในการดูดซับซ้ำได้ดีกว่าจีโอพอลิเมอร์จากดินขาว เนื่องจาก จีโอพอลิเมอร์จากถ้ำลอยสามารถดูดซับซ้ำได้ 3 ครั้ง ส่วนจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่

3.1 การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ

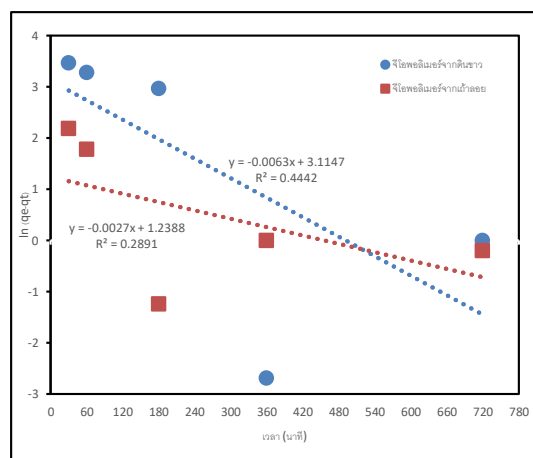
ในการศึกษาการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลียน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์จลนพลศาสตร์ของการดูดซับมี 3 แบบ คือ ปฏิกริยาอันดับหนึ่งเสมือน (pseudo-first order), ปฏิกริยาอันดับสองเสมือน (pseudo-second) และ กลไกการแพร่เข้าสู่พอร์น (intraparticle diffusion) เป็นการศึกษาถึงอัตราเร็วของปฏิกริยาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ โดยนำผลการทดลองที่ได้จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลียน กรีน แทนค่าตัวแปรในสมการแล้วสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการซึ่งอยู่ในรูปสมการเส้นตรง เพื่อหาค่าคงที่จากสมการของจลนพลศาสตร์ แล้วเปรียบเทียบกับผลการทดลองว่าสอดคล้องกับ ปฏิกริยาอันดับหนึ่งเสมือน หรือ ปฏิกริยาอันดับสองเสมือน

3.2 การศึกษาปฏิกริยาอันดับหนึ่งเสมือน

ในการศึกษาปฏิกริยาอันดับหนึ่งเสมือนเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลียน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์ โดยจะนำผลที่ได้จากการศึกษาเวลาในการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลียน กรีน ที่มีผลต่อการดูด

ซับของจีโอพอลิเมอร์มาแทนค่าในตัวแปรของสมการ $\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$ โดยใช้จีโอพอลิเมอร์ที่พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการไปสร้างกราฟโดยให้แกน x คือ เวลา (นาที่) และ แกน y คือ $\ln (q_e - q_t)$ จากสมการเส้นตรงที่ได้ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกริยาอันดับหนึ่งเสมือน (k_1) หาได้จากความชันของเส้นตรง

จากการศึกษาปฏิกริยาอันดับหนึ่งเสมือนของการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลียน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากถ้ำลอยที่เวลาใด ๆ พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.444 และ 0.289 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4

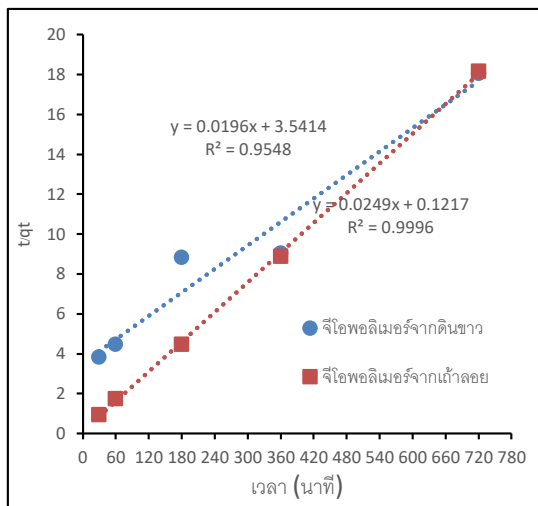


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับกับ $\ln (q_e - q_t)$ ที่ได้จากการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลียน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากถ้ำลอย

3.3 การศึกษาปฏิกริยาอันดับสองเสมือน

ในการศึกษาปฏิกริยาอันดับสองเสมือนเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลียน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์ โดยจะนำผลที่ได้จากการศึกษาเวลาในการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลียน กรีน ที่มีผลต่อการดูด

ชั้นของจีโอพอลิเมอร์มาแทนค่าในตัวแปรของสมการ $t/q_t = (1/k_2 q_\infty^2) + (t/q_\infty)$ โดยใช้จีโอพอลิเมอร์ที่พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการไปสร้างกราฟโดยใช้แกน x คือ เวลา (นาที) และ แกน y คือ t/q_t จากสมการเส้นตรงที่ได้ ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับสองเหมือน (k_2) หาได้จากความชันของเส้นตรง



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับ กับ t/q_t ที่ได้จากการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลี่ยน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากเถ้าลอย

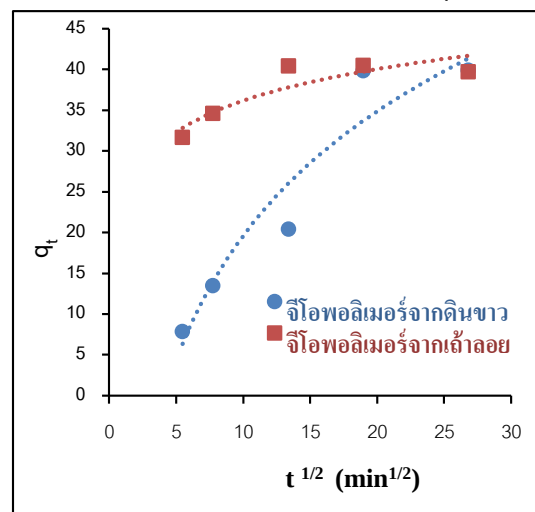
จากการศึกษาปฏิกิริยาอันดับสองเหมือนของการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลี่ยน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากเถ้าลอยที่เวลาใดๆ พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.9548 และ 0.9996 ตามลำดับ ดังรูปที่ 5

ผลการศึกษาปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเหมือน และปฏิกิริยาอันดับสองเหมือนของสารละลายสีย้อมบิลเลี่ยน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากเถ้าลอยที่เวลาใดๆ พบว่าจีโอพอลิเมอร์จากดินขาว และจากเถ้าลอย ให้ค่า R^2 ของปฏิกิริยาอันดับสองเหมือน เข้าใกล้ 1 มากที่สุด คือ 0.9548 และ 0.9996

ตามลำดับ ดังรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากเถ้าลอยสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเหมือน แสดงให้เห็นว่าการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลี่ยน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างสารละลายสีย้อมบิลเลี่ยน กรีน กับจีโอพอลิเมอร์ โดยเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุของสีย้อมบิลเลี่ยน กรีนกับพื้นผิวของจีโอพอลิเมอร์

3.4 การศึกษากลไกการแพร่เข้าสู่รูพรุน (intraparticle diffusion)

ในการศึกษากลไกการแพร่เข้าสู่รูพรุนเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลี่ยน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์ โดยจะนำผลที่ได้จากการศึกษาเวลาในการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลี่ยน กรีน ที่มีผลต่อการดูดซับของจีโอพอลิเมอร์มาแทนค่าในตัวแปรของสมการ $q_t = k_d t^{1/2} + c$ โดยใช้จีโอพอลิเมอร์ที่พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการไปสร้างกราฟโดยใช้แกน x คือ $t^{1/2}$ และ แกน y คือ q_t



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับ $t^{1/2}$ กับ q_t ที่ได้จากการดูดซับสารละลายสีย้อมบิลเลี่ยน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากเถ้าลอย

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับสารละลายสี ย้อมบิลเลียน กรีน ด้วยจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากเถ้าลอย สามารถอธิบายขั้นตอนการดูดซับที่เกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นลำดับได้ดังนี้ ขั้นแรก การดูดซับเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด เนื่องจากมีปริมาณของสี ย้อมบิลเลียน กรีน อยู่อย่างมากมาย เป็นผลของ boundary layer/film diffusion ในขณะที่ขั้นที่สอง เป็นสมดุลของการดูดซับเนื่องมาจากความเข้มข้นของ สีย้อมบิลเลียน กรีน มีปริมาณลดต่ำลง เป็นผลของ intraparticle/pore diffusion

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากเถ้าลอยเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับสารละลายสี ย้อมบิลเลียน กรีน ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของจีโอพอลิเมอร์ที่ใช้ในการดูดซับสารละลายสี ย้อมบิลเลียน กรีน โดยจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวมีปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม คือ 0.25 กรัมต่อลิตร เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับคือ 360 นาที ส่วนจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยมีปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.25 กรัมต่อลิตร เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับคือ 180 นาที

2. จลนพลศาสตร์การดูดซับสารละลายสี ย้อมบิลเลียน กรีน โดยใช้จีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากเถ้าลอยสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน

3. จีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากเถ้าลอยสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวสามารถดูดซับซ้ำได้ครั้งเดียว มีประสิทธิภาพการดูดซับ 21.36% ส่วนจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยสามารถดูดซับซ้ำได้ 3 ครั้ง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับครั้งสุดท้าย 58.31%

จีโอพอลิเมอร์จากดินขาวและจากเถ้าลอยมีศักยภาพในการใช้เป็นตัวดูดซับ เพื่อใช้ในการบำบัดสี ย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม นอกจากนี้จีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 3 ครั้ง แต่ยังสามารถพัฒนาเพื่อให้จีโอพอลิเมอร์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้งมากขึ้น ในงานวิจัยถัดไปอาจเพิ่มพื้นที่ผิวของจีโอพอลิเมอร์โดยเตรียมเป็นโฟมจีโอพอลิเมอร์ เพิ่มการศึกษาผลของพีเอชต่อการดูดซับ และ การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการสนับสนุนในด้านเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ PERCH-CIC ที่สนับสนุนงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Balendu SG, Sudeshna G, Saurabh P, Aparna T, Riti TK, Rajendra PS, et al. Reusablility of brilliant green dye contaminated wastewater using corncob biochar and Brevibacillus parabrevis: hybrid treatment and kinetic studies. Bioengineered 2020; 11(1): 743-58.
- [2] Eletta OAA, Mustapha SI, Ajayi OA and Ahmed AT. Optimization of dye removal from textile wastewater using activated carbon from sawdust. Nigerian journal of technological development 2018; 15(1): 26-32.
- [3] คณิตตา ธรรมจริยวงศา. จีโอฟอสเฟอไรต์: วัสดุก่อสร้างเพื่อสิ่งแวดล้อม. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 20 เมษายน 2564] เข้าถึงได้จาก : <http://blog.bru.ac.th/wp-content/uploads/bp-attachments/12116/%E0%B8%88%E0%B8%B5%E0%B9%82%E0%B8%AD%E0%B9%82%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%A1%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C.pdf>
- [4] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 26 เมษายน 2564] เข้าถึงได้จาก : http://maemoh.egat.com/index.php?option=com_content&view=article&id=89&Itemid=494
- [5] อภิลิทธิ โฆษิตชัยยงค์, สันติ มิตรประเสริฐพร, เอกชัย วิมลมาลา, ชีรศักดิ์ หมากรผิน และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ. การใช้ประโยชน์จากอนุภาคเถ้าลอย เพื่อทำหน้าที่เป็นสารลดต้นทุน สำหรับผลิตภัณฑ์พอลิเอทิลีนที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการแม่พิมพ์หมุนเหวี่ยง โดยปรับปรุงสภาวะการเตรียมวัสดุผสม. วารสารวิจัยและนวัตกรรมเพื่ออุตสาหกรรมไทย. 2553; 1(1): 43-53.
- [6] Feng J, Zhang R, Gong L, Li Y, Cao W and Cheng X. Development of porous fly ash-based geopolymers with low thermal conductivity. Materials and Design 2015; 65: 529-33.
- [7] Vinay KJ and Gautam PB. Synthesis of geopolymers from coal fly ash. Journal of Nepal Chemical Society 2012; 30: 24-8.

- [8] Moni SMFK, Ikeora O, Pritzel C, Gortz B and Trettin R. Preparation and properties of fly ash based geopolymer concrete with alkaline waste water obtained from foundry sand regeneration process. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 2020; 22: 1434-43.
- [9] Chan JL, Zhang YJ, Chen H, Yang PH, and Meng Q. Development of porous and reusable geopolymer adsorbents for dye wastewater treatment. *Journal of cleaner production*. 2022; 10: 131278
- [10] Maleki A, Mohammad M, Emdadi Z, Asim N, Azizi M and Safaei J. Adsorbent materials based on a geopolymer paste for dye removal from aqueous solutions. *Arabian journal of chemistry* 2020; 13(1): 3017-25.
- [11] Açıklı Ö, Acar İ and Khataee A. Preparation of a surface modified fly ash-based geopolymer for removal of an anionic dye : parameters and adsorption mechanism. *Chemosphere*. 2022; 295: 133870.
- [12] สุพัตตรา บุตรเสรีชัย, ฐิติมา นิกรสังขพิณิจ, ศิลป์สุภา แก้วเกิดคำ, อธิป เหลืองไพโรจน์ และยุวรัตน์ เงินเย็น. การใช้เถ้าลอยในการบำบัดสีของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษด้วยกระบวนการดูดซับ. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษา ระดับชาติและนานาชาติ 2559, 15 มกราคม 2559, จังหวัดขอนแก่น; 2559.