การกำจัดสีย้อมด้วยเถ้าชีวมวลกับเปลือกไข่ผ่านกระบวนการดูดซับ

Dye Removal by Biomass Ash and Eggshell via Adsorption Process

สายสมร ลำลอง* วรันยา ผาวัน และ พรพรรณ พึ่งโพธิ์
Saisamorn Lumlong* , Waranya Phawan and Pornpun Pungpho

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
*E-mail: saisamorn.l@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของเถ้าชีวมวลจากโรงงานมิตรผล จังหวัดอำนาจเจริญ และเปลือกไข่เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ศึกษาอัตราส่วนของเถ้าชีวมวลต่อเปลือกไข่ 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 พบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 1:3 ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม 83.19 ± 1.12% จากนั้นศึกษาปริมาณตัวดูดซับและเวลาที่เหมาะสมของเถ้าชีวมวล เปลือกไข่ และเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือปริมาณ 0.5 กรัม เวลาในการดูดซับคือ 30 นาที ไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมของเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่สอดคล้องกับฟรุนดลิชไอโซเทอร์มซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น การศึกษาจลพลศาสตร์ในการดูดซับพบว่าการดูดซับสีย้อมบนตัวดูดซับของเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่สอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน การศึกษาอุณหพลศาสตร์พบว่า มีค่า ΔH° เป็นบวกแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน และค่า ΔG° เป็นลบแสดงว่ากระบวนการดูดซับสามารถเกิดขึ้นเองได้

คำสำคัญ: การดูดซับ สีย้อมบริลเลียน กรีน เปลือกไข่ เถ้าชีวมวล

Abstract

The objective of this research was to study the adsorption of brilliant green by using biomass ash from Mitr phol sugar factory, Amnat charoen province and eggshell. The ratios of biomass ash and eggshell was determined from 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 and 1:5. The best ratio of biomass ash: eggshell is 1:3 with the dye adsorption efficiency of 83.19 ± 1.12%. The suitable amount of adsorbent and time were investigated. The results showed that the optimum conditions of biomass ash, eggshell and biomass ash mixed with eggshell were 0.5 g of adsorption time 30 minutes. Adsorption isotherm of biomass ash mixed with eggshell corresponded with Freundlich isotherm which indicated the multilayers adsorption. Kinetic study showed that the adsorption of biomass ash mixed with eggshell was followed the pseudo-second order model. The thermodynamic properties of the adsorption, the positive value of ΔH° indicated that dye adsorption is an endothermic reaction and negative ΔG° indicated that are spontaneous process.

Keywords: Adsorption, Brilliant Green, Eggshell, Biomass Ash

บทนำ

น้ำเสียจัดว่าเป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำ โดยสีย้อมสังเคราะห์ที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องหนัง สิ่งทอ และกระดาษ เป็นต้น จัดว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาแหล่งน้ำธรรมชาติเน่าเสีย มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ สีย้อมบางชนิดยังเป็นสารก่อมะเร็ง (ชนิภรณ์และคณะ, 2564) การบำบัดน้ำเสียมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อจำกัดแตกต่างกัน เช่น การกรองด้วยเยื่อกรองเมมเบรน (Membrane filtration) จะต้องควบคุมระดับความดันน้ำ อัตราการไหลของน้ำ ค่าความเป็นกรดด่างและอุณหภูมิ การสร้างตะกอนและการรวมตะกอน (Coagulation and Flocculation) โดยใช้สารส้ม ปูนขาว และสารประกอบเหล็ก ก็เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง แต่จะมีกากตะกอนเกิดขึ้นในปริมาณมาก ทำให้ยุ่งยากในการนำไปกำจัดทิ้ง กระบวนการดูดซับ (Adsorption) เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่มีวิธีการที่ง่ายและมีค่าใช้จ่ายน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดโลหะหนักและสีย้อมออกจากน้ำเสีย (วิรังรอง, 2558) มีงานวิจัยที่ใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัดสีย้อม ยกตัวอย่างเช่น Mansour et al. (2021) ได้ศึกษาการนำถ่านกัมมันต์จากเมล็ดอินทผลัมมาใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับสีย้อม คือ ปริมาณตัวดูดซับ 0.06 กรัม เวลาในการดูดซับ 55 นาที พีเอชเท่ากับ 8 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น 10-50 พีพีเอ็ม Singh et al. (2022) ได้ศึกษาการนำถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยมาใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน พบว่าสามารถกำจัดสีย้อมได้มากกว่า 99% เมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับ 15 มิลลิกรัม นั่นคือการใช้กระบวนการดูดซับเป็นวิธีที่ดีในการกำจัดสีย้อมบริลเลียน กรีน การเลือกนำตัวดูดซับจากวัสดุเหลือใช้มาเตรียมเป็นตัวดูดซับทำให้ลดขยะและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย เป็นวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

เปลือกไข่เป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากกระบวนผลิตอาหารและจากภาคครัวเรือน ส่วนประกอบหลักของเปลือกไข่ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งเป็นตัวดูดซับที่ดี (ชนิภรณ์และคณะ 2564) ในอุตสาหกรรมการเกษตรมีเปลือกไข่อันเนื่องมาจากการฟักไข่ ประเทศไทยมีการบริโภคไข่มากกว่า 15,000 ล้านฟองต่อปี มีรายงานการวิจัยว่า ไข่ 1 ฟอง หนักประมาณ 60 กรัม มีเปลือกไข่ 11% ทำให้เกิดขยะอันเนื่องมาจากเปลือกไข่ประมาณ 90,000 ตันต่อปี ทุก ๆ วันมีการทิ้งเปลือกไข่จำนวนมาก อาจจะกำจัดทิ้งโดยการฝังกลบร่วมกับขยะอื่น ๆ บริเวณที่ฝังกลบเปลือกไข่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมมากมาย ยกตัวอย่างเช่น กลิ่นไม่พึงประสงค์ เป็นแหล่งเพาะพันธ์ของแมลงสาบ เป็นที่อยู่อาศัยของหนู (วิชัย, 2555; De Angelis et al., 2017; Laohavisuti et al. 2021; Oliveira et al., 2013)

ในอุตสาหกรรมน้ำตาล มีการนำเอาชานอ้อยมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาล ทำให้ได้เถ้าชีวมวลจากกระบวนการนี้

ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เถ้าชีวมวลจากโรงงานน้ำตาลมิตรผล จังหวัดอำนาจเจริญ และเปลือกไข่ไก่จากร้านอาหาร ตึกเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ในการกำจัดสีย้อมบริลเลียน กรีน ที่ปนเปื้อนในสารละลาย เนื่องจากเปลือกไข่หาได้ง่าย พบได้ทั่วไปตามร้านอาหาร ศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวดูดซับได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับและเวลาในการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน รวมทั้งศึกษาไอโซเทอร์ม จลนพลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์การดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ด้วยเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ เพื่อจะได้นำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดสีย้อมบริลเลียน กรีน ที่ปนเปื้อนในสารละลายตามแหล่งน้ำธรรมชาติ แม่น้ำลำคลอง น้ำทิ้งชุมชน น้ำทิ้งในอุตสาหกรรม เพื่อจะได้เป็นการลดปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรมต่อไป

วิธีการวิจัย

การเตรียมเปลือกไข่

นำเปลือกไข่มาล้างทำความสะอาด แช่ด้วยน้ำส้มสายชู ลอกเยื่อออก อบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดให้เป็นผง

การเตรียมเถ้าชีวมวล

นำเถ้าชีวมวลจากโรงน้ำตาล ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นก่อนนำไปใช้เป็นตัวดูดซับ

การดูดซับสีย้อมของตัวดูดซับ

ชั่งตัวดูดซับ ใช้เวลาในการดูดซับสีย้อม 60 นาที ความเข้มข้นของสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 624 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมคำนวณจากสมการที่ 1

$$\%\ adsorption = \frac{(Co-Ct)x100}{Co}$$ สมการที่ 1

C_o คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม

C_t คือ ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมหลังการดูดซับที่เวลาใด ๆ

การนำกลับมาใช้ใหม่

นำตัวดูดซับ (เถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ 1:3) ที่ผ่านการดูดซับสีย้อมแล้วนำมาเผาที่ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็น ชั่ง 1 กรัมใช้เวลาในการดูดซับสีย้อม 30 นาที ความเข้มข้นของสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 624 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เพื่อนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมตามสมการที่ 1

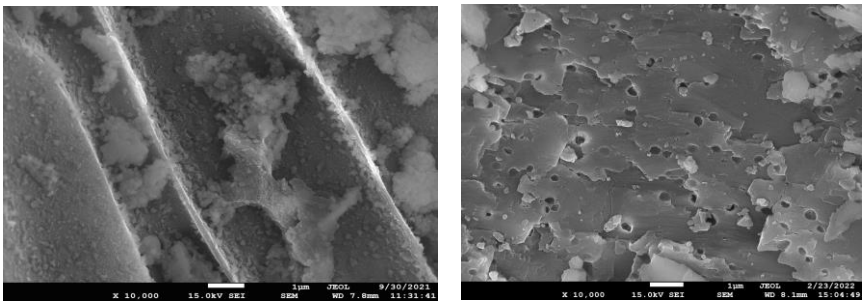
การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค SEM

นำตัวอย่างเถ้าชีวมวลและเปลือกไข่มาเตรียมบนแท่นติดชิ้นงาน (specimen stub) นำไปเคลือบด้วยทอง วัดด้วยเครื่อง SEM (SSX-550, Shimadzu, Japan)

ผลการวิจัย

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเถ้าชีวมวลและเปลือกไข่ด้วยเทคนิค SEM

การศึกษาสัณฐานและรายละเอียดลักษณะพื้นผิวของเถ้าชีวมวลและเปลือกไข่ พบว่าเถ้าชีวมวล มีลักษณะเป็นแผ่นมีรูปร่างไม่แน่นอนและมีผิวหน้าที่ขรุขระ และเปลือกไข่มีลักษณะ มีรูพรุน ผิวหน้าขรุขระ ดังภาพที่ 1

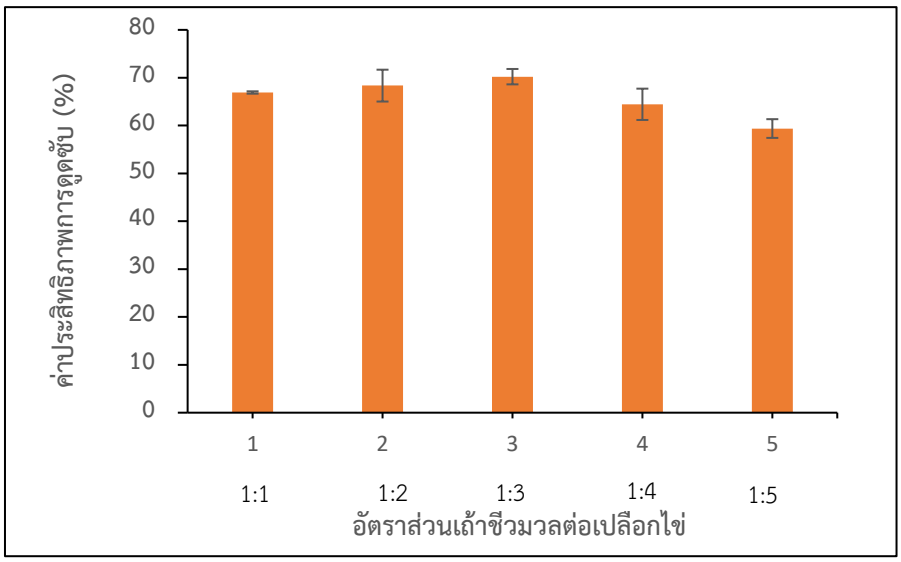


(a) (b)

ภาพที่ 1 ภาพ SEM ที่กำลังขยาย 10,000 ของ (a) เถ้าชีวมวล และ (b) เปลือกไข่

ผลของอัตราส่วนเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

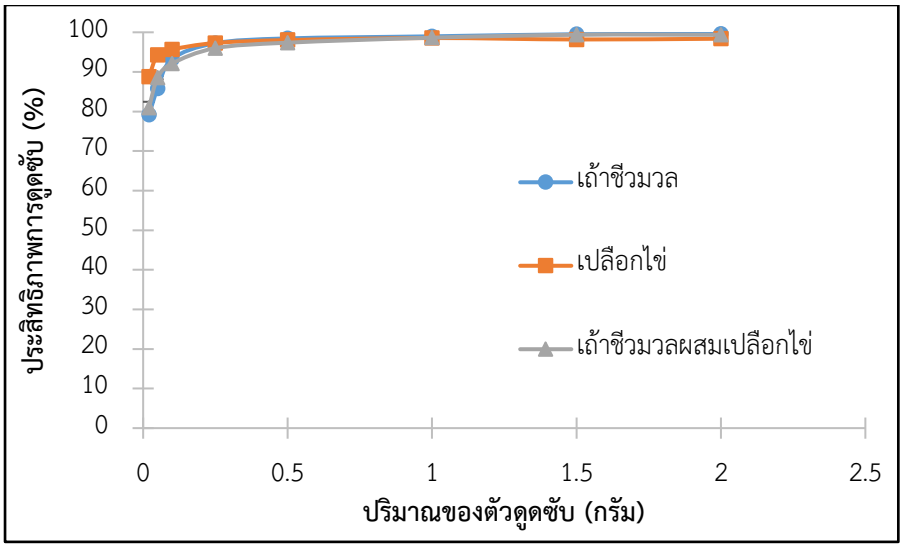
ในการศึกษาอัตราส่วนระหว่างเถ้าชีวมวลและเปลือกไข่ ชั่งเถ้าชีวมวลต่อเปลือกไข่ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 ปริมาณ 0.02 กรัม ดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 180 นาที จากนั้นนำไปกรองแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis spectroscopy พบว่าที่อัตราส่วน 1:3 ให้ประสิทธิภาพการดูดซับมากที่สุดคือ 83.19 ± 1.12% ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วน 1:3 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการดูดซับต่อไป เมื่อเพิ่มเปลือกไข่ ทำให้ค่าประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากเปลือกไข่มีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมด้อยกว่าเถ้าชีวมวล



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเถ้าชีวมวลต่อเปลือกไข่ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม

ผลของปริมาณตัวดูดซับต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม

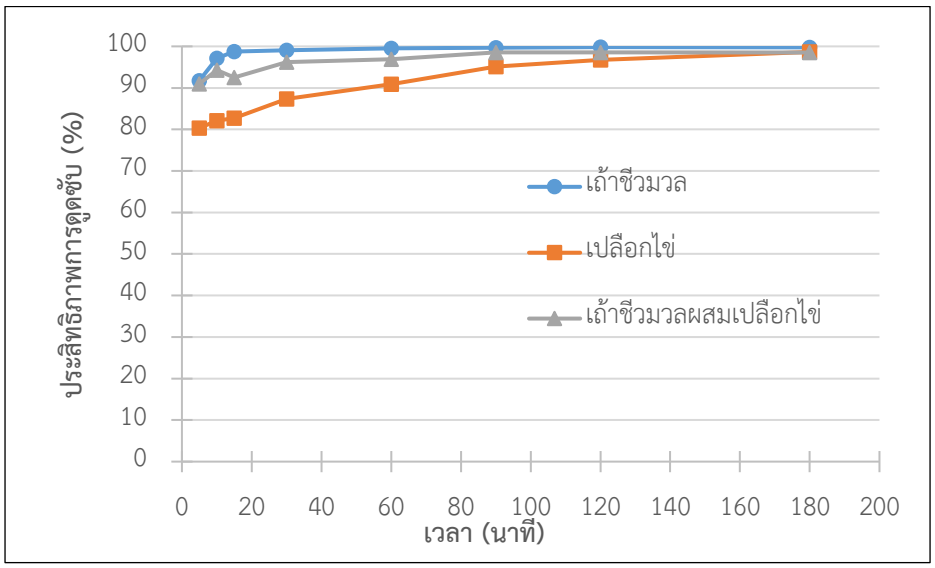
ได้ทำการศึกษาปริมาณตัวดูดซับธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด คือ เถ้าชีวมวล, เปลือกไข่ และเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน โดยปริมาณของตัวดูดซับธรรมชาติที่ใช้ศึกษาคือ 0.02, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม ในการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาในการดูดซับ 180 นาที พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับนั่นเอง ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร คือ 0.5 กรัม โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับมากกว่า 97% เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ การดูดซับสีย้อมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงเลือกใช้ที่ปริมาณ 0.5 กรัม เป็นปริมาณที่ใช้การดูดซับที่เหมาะสม



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม

ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมบิลเลี่ยนกรีนโดยใช้วัสดุดูดซับธรรมชาติ

ได้ทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน โดยใช้วัสดุดูดซับธรรมชาติ 3 ชนิด ได้แก่ เถ้าชีวมวล, เปลือกไข่ และเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับคือ 1.00 กรัม ในการดูดซับสีย้อมที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการดูดซับคือ 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที พบว่าการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาที่สีย้อมสามารถแพร่ไปยังพื้นผิวของวัสดุดูดซับธรรมชาติมีมากขึ้น เมื่อเพิ่มเวลามากกว่า 30 นาที การดูดซับสีย้อมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงเลือกที่เวลา 30 นาทีเป็นเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่เหมาะสม



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม

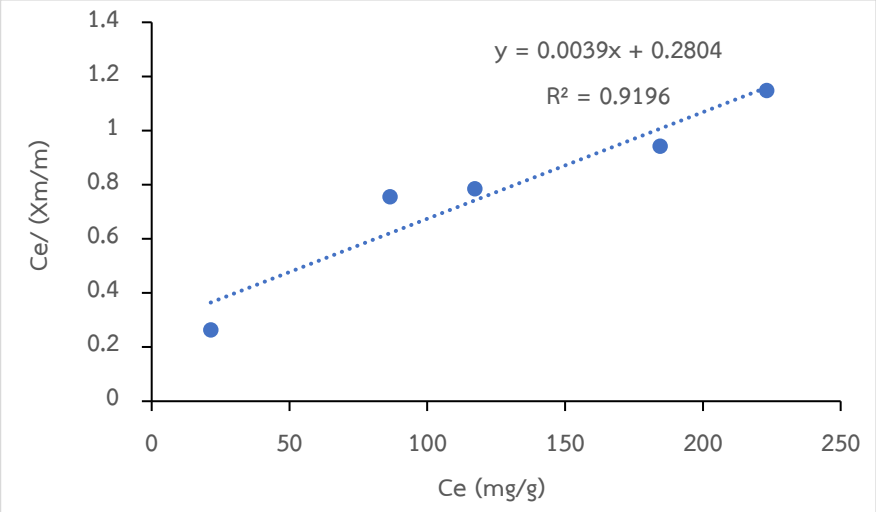
เนื่องจากตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มการดูดซับเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงเลือกเฉพาะเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่มาใช้เป็นโมเดลในการศึกษาจลนพลนศาสตร์ อุณหพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม การนำกลับมาใช้ใหม่

การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีนด้วยเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่

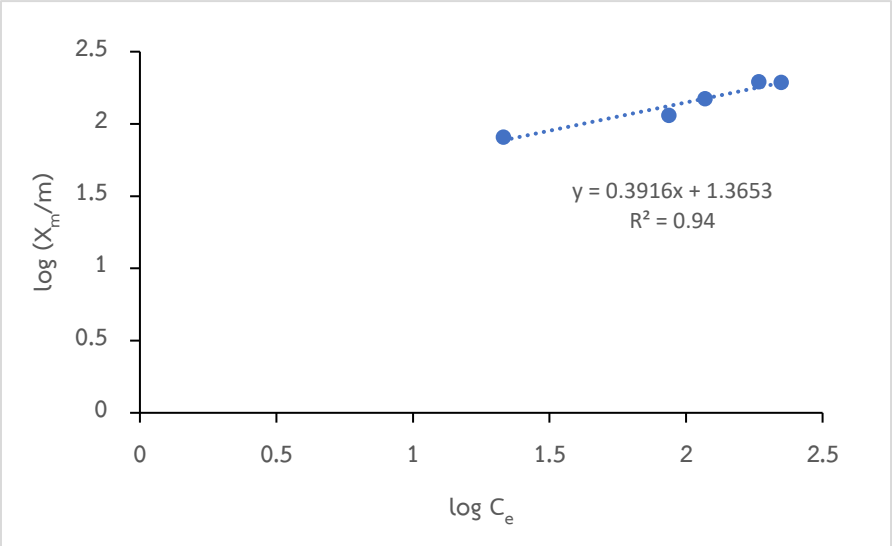
นำตัวดูดซับ 1 กรัม มาดูดซับสีย้อมที่มีความเข้มข้น 100, 200, 300, 400 และ 500 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แปรเวลาในการดูดซับ 5, 10,15, 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที กรองและวัดความเข้มข้นของสารละลายหลังดูดซับ นำค่า q_e ที่ได้มาแทนค่าลงในสมการของ Langmuir isotherm (สมการที่ 2) และ Freudlich isotherm (สมการที่ 3) โดยค่า C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สมดุล, Q_{max} คือ ความจุการดูดซับของตัวดูดซับแบบชั้นเดียว, K_L คือ ค่าคงที่แลงเมียร์, K_F คือค่าคงที่ของฟรุนดลิช, 1/n คือปัจจัยที่แสดงความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเปรียบเทียบค่า R^2 (ชนิภรณ์และคณะ, 2564; Shakeri et al., 2020) ดังภาพที่ 5 และ 6

$$\frac{C_e}{qe} = \frac{1}{Q_{max}.KL} + \frac{C_e}{Q_{max}} \qquad \text{สมการที่ 2}$$

$$\log qe = \log K_F + \frac{1}{n}\log C_e \qquad \text{สมการที่ 3}$$



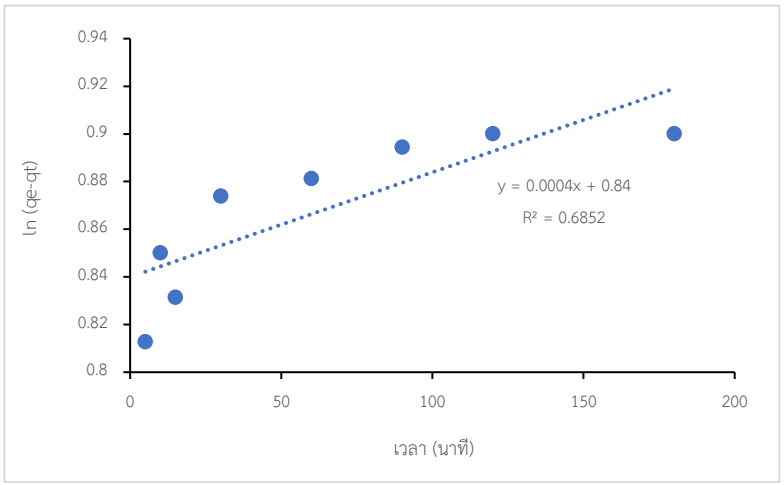
ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $C_e/(X_m/m)$ กับ C_e การดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีนด้วยเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ แบบจำลอง Langmuir isoterm



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log (X_m/m) กับ logC_e ของการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ของเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ แบบจำลอง Freundlich isoterm

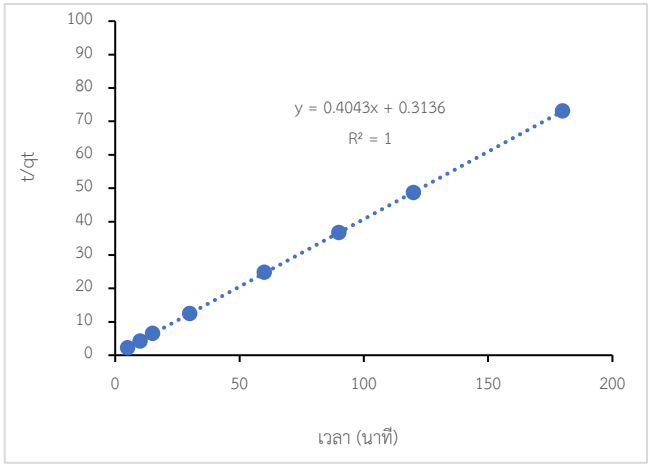
การศึกษาจลนพลนศาสตร์การดูดซับสารละลายสีย้อมบริลเลียน กรีน

จากการศึกษาจลนพลนศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-first order คำนวณตามสมการ $\ln(q_e-q_t) = \ln q_e - k_1 t$ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟโดยใช้แกน x คือ เวลา (นาที) และแกน y คือ $\ln(q_e - q_t)$ จากสมการเส้นตรงที่ได้ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน (k_1) หาได้จากความชันของเส้นตรง ได้ผลดังภาพที่ 7 ซึ่งได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.682



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ln (q_e-q_t) กับ เวลา ของการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ด้วยเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่

จากการศึกษาจลนพลนศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-second order คำนวณตามสมการ $(t/q_t) = (1/k_2 q_e^2) + (t/q_e)$ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟโดยใช้แกน x คือ เวลา (นาที) และแกน y คือ t/q_t จากสมการเส้นตรงที่ได้ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน (k_2) หาได้จากความชันของเส้นตรง ได้ผลดังภาพที่ 8 ซึ่งได้ค่า R^2 เท่ากับ 1



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง t/q_t กับ เวลา ของการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ด้วยเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่

การศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับสารละลายสีย้อมบริลเลียน กรีน

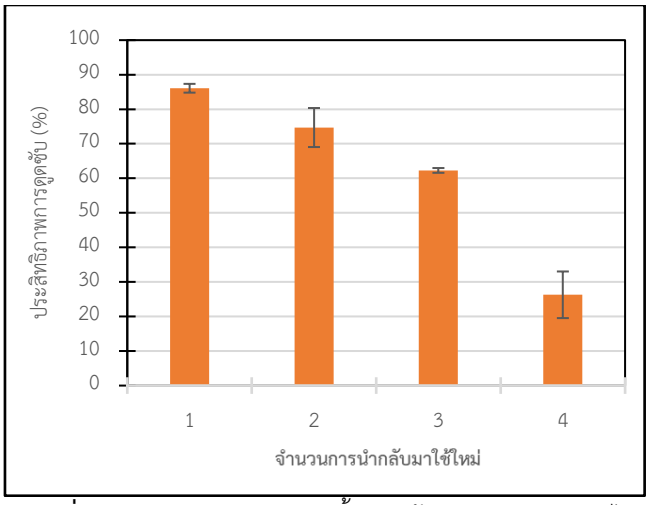
ในการศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับสีย้อมจากสารละลายในระดับห้องปฏิบัติการ โดยจะนำผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิการดูดซับของเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ มาแทนค่าในตัวแปรของสมการ $\ln K_c = -(\Delta H°/RT) + (\Delta S°/R)$ โดยใช้เถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ 1 กรัม ในปริมาตร 25 มิลลิลิตร ของสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50, 60 และ70 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 นาที จากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการไปสร้างกราฟ โดยที่แกน X คือ 1/T และแกน Y คือ $\ln K_c$ จากสมการเส้นตรงที่ได้สามารถคำนวณหาค่าคงที่ทางอุณหพลศาสตร์ซึ่งก็คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของการดูดซับ ($\Delta H°$) การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการดูดซับ ($\Delta S°$) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิ๊บส์ ($\Delta G°$) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ทางอุณหพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ด้วยเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่

T (เคลวิน)	$\ln K_c$	$\Delta G°$ (กิโลจูลต่อโมล)	$\Delta H°$ (กิโลจูลต่อโมล)	$\Delta S°$ (กิโลจูลต่อโมล)
307	2.469	-6.303		
313	3.339	-8.688		
323	3.960	-10.635	33.267	148.762
333	4.100	-11.351		
343	4.160	-11.862		

การนำกลับมาใช้ใหม่

การศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ ในการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน เป็นการศึกษาว่าวัสดุดูดซับนั้น สามารถนำมาทำการดูดซับซ้ำ เพื่อจะได้นำวัสดุดูดซับไปใช้ในการดูดซับได้อย่างมีประโยชน์ และประสิทธิภาพสูงสุดพบว่า ตัวดูดซับที่นำกลับมาใช้ใหม่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมลดลง เมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 3 ครั้ง หลังจากนั้นประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลงมาก เหลือเพียงประมาณ 25% ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพการดูดซับซ้ำของเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาการนำเถ้าชีวมวล เปลือกไข่ และเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่มาใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ได้ผลสรุปดังนี้

1. อัตราส่วนที่เหมาะสมของเถ้าชีวมวลต่อเปลือกไข่ โดยการนำเถ้าชีวมวลต่อเปลือกไข่ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 ไปดูดซับสีย้อมเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณ 0.02 กรัม ให้ประสิทธิภาพการดูดซับมากที่สุด คือ 83.19 ± 1.12% ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วน 1:3 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการดูดซับต่อไป

2. ปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ด้วยเถ้าชีวมวล เปลือกไข่ และเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ คือ 0.5 กรัม และเวลาในการดูดซับ คือ 30 นาที

3. จากผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ด้วยเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่พบว่าไอโซเทอร์มที่เหมาะสม คือ แบบจำลองฟรุนดลิชไอโซเทอร์ม เนื่องจากมีค่า R^2 เท่ากับ 0.94 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของชนิภรณ์และคณะ, 2564 ซึ่งทำการศึกษาการดูดซับสีย้อม Titan yellow ด้วยผงเปลือกไข่เป็ด

4. จากการศึกษาจลพลศาสตร์ในการดูดซับพบว่าการดูดซับสีย้อมบนตัวดูดซับเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่สอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน เนื่องจากมีค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด

5. จากการศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ของเถ้าชีวมวลผสมเปลือกไข่ พบว่าค่า ΔH° มีค่าเป็นบวก แสดงว่าการดูดซับนี้เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ค่า ΔS° มีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับมีผลทำให้โมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับที่บริเวณรอยต่อของพื้นผิวตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับมีความไม่เป็นระเบียบเพิ่มสูงขึ้น และค่า ΔG° มีค่าเป็นลบ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการดูดซับนี้สามารถเกิดขึ้นเองได้

6. ประสิทธิภาพการดูดซับซ้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเผาตัวดูดซับก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ส่งผลต่อรูพรุนหรือโครงสร้างของตัวดูดซับ จำเป็นต้องมีการศึกษาลักษณะของตัวดูดซับหลังจากเผาก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้อาจปรับปรุงพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพื่อให้มีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเพิ่มมากขึ้น

7. งานวิจัยนี้คาดว่าจะสามารถนำเอาเปลือกไข่และเถ้าชีวมวลมาใช้เป็นตัวดูดซับโดยตรง ไม่ต้องผ่านการสังเคราะห์เป็นสารชนิดใหม่ (จีโอพอลิเมอร์ หรือ ซีโอไลต์) หรือปรับปรุงพื้นผิวที่ยุ่งยาก งานวิจัยนี้ก็ถือว่าสามารถหาอัตราส่วนระหว่างเปลือกไข่และเถ้าชีวมวลที่เหมาะสมเพื่อเป็นตัวดูดซับสีย้อมบริลเลียน กรีน ได้ หากไม่ต้องการที่จะนำเอาตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่หลายครั้งก็ถือว่าเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพ ราคาถูกและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้คาดว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสีย้อมประจุบวกหรือโลหะหนักได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการสนับสนุนในด้านเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ชนิภรณ์ วดีศิริศักดิ์, สุพรรณี ฉายะบุตร และจิตนภา ศิริรักษ์. (2564). การใช้ผงเปลือกไข่เป็ดเป็นตัวดูดซับจากธรรมชาติในการกำจัดสีย้อมแอซิดและสีย้อมเบสิกในน้ำ. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 26*(2), 837-851.

วิชัย โภคภัณฑ์. (2555). เทคโนโลยีการนำเปลือกไข่มาใช้ประโยชน์. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์, 11*(2), 75-83.

วิรังรอง แสงอรุณเลิศ. (2558). การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกไข่และเปลือกหอยแครง โดยวิธีกระตุ้นทางเคมี วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. *มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 7*(7), 97-110.

De Angelis, G., Medeghini, L., Conte, A. M. and Mignardi, S. (2017). Recycling of eggshell waste into low-cost adsorbent for Ni removal from wastewater. *Journal of Cleaner Production, 164*, 1497-1506.

Laohavisuti, N., Boonchom, B., Boonmee, W., Chaiseeda, K. and Seesanong, S. (2021). Simple recycling of biowaste eggshells to various calcium phosphates for specific industries. *Scientific reports*, *11*, 1-11. https://doi.org/10.1038/s41598-021-94643-1.

Mansour, R. A., Simeda, M. G. and Zaatout, R. A. (2021). Removal of brilliant green dye from synthetic wastewater under batch mode using chemically activated date pit carbon. *Royal society of chemistry*, *11*, 7851-7861.

Oliveira, D. A., Benelli, P. and Amante, E. R. (2013). A literature review on adding value to solid residues: egg shells. *Journal of Cleaner Production, 46*, 42-47. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.045.

Shakeri, S., Rafiee, Z. and Dashtian, K. (2020). Fe_3O_4-based melamine-rich covalent organic polymer for simultaneous removal of Auramine O and Rhodamine B. *Journal of Chemical & Engineering data, 65*, 696-705.

Singh, S., Gupta, H., Dhiman, S. and Sahu, N.K. (2022). Decontamination of cationic dye brilliant green from the aqueous media. *Applied water science*, *12*(61), 1-10.