

การดูดซับสีเมทิลีนบลูจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผงกาบหมาก (*Areca catechu* L.) Adsorption of Methylene Blue Dye from Aqueous Solution Using Arecanut (*Areca catechu* L.) Leaf Sheath Powder

ศิริรัตน์ แจ้งกรณ์¹ กานดา ปุ่มสิน¹ จิตติมา สามารถ²
E-mail: s.jangkorn@gmail.com¹, kanda.kai1128@gmail.com¹, chittima.321@gmail.com²

บทคัดย่อ

กาบหมากเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ที่สามารถนำมาใช้ดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ โดยเตรียมวัสดุให้เป็นผง ซึ่งวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีเมทิลีนบลูด้วยกาบหมากที่เตรียมในรูปแบบผง ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 กรัม, ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลู 10, 20, 30, 40, 50, 60 70 และ 80 มิลลิกรัม/ลิตร, เวลาในการดูดซับ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง, ความเร็วรอบในการดูดซับ 100, 150, 200, 250 และ 300 รอบ/นาที, และความเป็นกรด-ด่าง 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 หลังจากนั้นนำสารละลายหลังการดูดซับมาวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของเมทิลีนบลูที่คงเหลือ ด้วยเทคนิคออลตราไวโอเลตวิชิเปิลสเปกโทรโฟโตเมทรี จากการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการดูดซับสีเมทิลีนบลูพบว่า ปริมาณตัวดูดซับ เท่ากับ 0.2 กรัม, ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลู เท่ากับ 10 มิลลิกรัม/ลิตร, เวลาในการดูดซับ เท่ากับ 5 ชั่วโมง, ความเร็วรอบ เท่ากับ 100 รอบ/นาที และความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 11 และมีรูปแบบการดูดซับเมทิลีนบลูของผงกาบหมากสอดคล้องกับการดูดซับของฟรอนด์ไอโซเทอร์ม ($R^2 = 0.9951$) ผงกาบหมากมีคุณสมบัติบางประการที่สามารถนำกลับมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยใช้เป็นตัวดูดซับสีเมทิลีนบลูได้

คำสำคัญ: การดูดซับ เมทิลีนบลู ต้นหมาก แลงเมียร์ ฟรอนด์

Abstract

Arecanut leaf sheath is a solid waste from agriculture and can be used adsorption of methylene blue dye that was prepared powder form. The objective was to study effects for adsorption of methylene blue dye by using Arecanut leaf sheath powder which was investigated including dose of adsorbent 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 g, methylene blue dye concentration 10, 20, 30, 40, 50, 60 70 and 80 mg/L, contact time 1, 2, 3, 4 and 5 hours, shaking speed 100, 150, 200, 250 and 300 rpm. and pH 1, 3, 5, 7, 9 และ 11. After that, the methylene blue dye solutions were measured by Ultraviolet-Visible spectrophotometry. Result found the optimum effect for methylene blue dye adsorption was 0.2 g of dose, 10 mg/L of methylene blue dye concentration, 5 hours of contact time, 100 rpm. of shaking speed and pH 11. The adsorption isotherm of methylene blue dye by Arecanut leaf sheath powder was corresponded Freundlich adsorption isotherm ($R^2 = 0.9951$). Arecanut leaf sheath powder was recyclable waste for usefulness that can be used as adsorbent for adsorption of methylene blue dye.

Keywords: adsorption, methylene blue, arecanut, langmuir, freundlich

ความเป็นมาของปัญหา

อุตสาหกรรมสิ่งทอมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย สร้างรายได้อย่างมหาศาลให้แก่ภาคอุตสาหกรรม และยังเป็นธุรกิจที่มีอัตราการจ้างงานที่สูงมาก อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโยงวัฒนธรรมภูมิปัญญาท้องถิ่น ด้านการผลิตสิ่งทอและมีบทบาทต่อการพัฒนาชุมชนด้วย (กระทรวงพลังงาน, 2557) แต่กระบวนการฟอกย้อมในอุตสาหกรรมดังกล่าวก่อให้เกิดน้ำเสียจำนวนมาก ซึ่งลักษณะน้ำเสียนั้นมักมีด้วยสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณสูง จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะปัญหาน้ำเสีย หากกระบวนการฟอกย้อมไม่มีการควบคุมและการบำบัดน้ำเสียที่ได้มาตรฐาน อาจเกิดการปล่อยน้ำเสียและสีย้อมมากกว่าร้อยละ 50 สู่อ่างน้ำเสีย แม้ว่าจะมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในระดับต่ำ แต่หากแหล่งน้ำมีการปนเปื้อนสีย้อมเพียงแค่ว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะสามารถส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำได้ เนื่องจากสีย้อมมีความคงตัว ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยแสงและความร้อน อีกทั้งยังปิดกั้นการส่องผ่านของแสงสู่แหล่งน้ำ สร้างความน่ารังเกียจและทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำอีกด้วย (นิตยา ผาสุกพันธุ์, 2559)

¹อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

²นักศึกษาลักสตรวิทยาสาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

เมทิลีนบลูเป็นสีเบสิก (basic dyes) ที่ละลายน้ำได้ มีโครงสร้างที่ทำให้เกิดสี ส่วนใหญ่นำไปใช้เป็นสีในกระบวนการย้อมผม ย้อมผ้า-ขนสัตว์ และเป็นสีที่ย้อมแล้วติดทนนาน (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556) น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมมีการบำบัดหลายวิธี เช่น การตกตะกอนทางเคมี (chemical coagulation-flocculation) กระบวนการโอโซนออกซิเดชัน (ozone oxidation) การกรองด้วยเมมเบรน (membrane filtration) เทคโนโลยีทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical technology) การบำบัดทางชีวภาพ (biological treatment) และกระบวนการดูดซับ (adsorption) (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2559) ซึ่งการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียที่กล่าวมานั้นล้วนแต่มีต้นทุนที่สูง มีกระบวนการบำบัดที่ซับซ้อน และต้องการบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญควบคุมดูแล แต่กระบวนการดูดซับเป็นก่าจัดสีในน้ำเสียที่ค่อนข้างง่าย ไม่ซับซ้อนและนิยมนำมาใช้บำบัดเนื่องจากต้นทุนในการดำเนินการไม่สูงมากนัก และยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำสี ส่วนวัสดุที่ใช้ในการดูดซับหาง่ายและมีปริมาณมาก เช่น แอคติเวตเต็ดคาร์บอน แร่ธาตุ สารอินทรีย์ ซีโอไลต์ และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เป็นต้น

ของเหลือทิ้งที่นำมาเป็นตัวดูดซับสำหรับการทดลองนี้ เป็นวัสดูธรรมชาติดที่ได้จากต้นหมาก (*Areca catechu* L.) โดยจะใช้ส่วนที่เป็นกาบหมาก เมื่อลอกผิวชั้นนอกออกจะได้เส้นใยที่มีความยาวเป็นเส้นตรงตามโคนของกาบหมากซึ่งจะมีความเหนียว ไม่ขาดง่าย (Pleawjit 2019) และทนต่อแรงดึงได้ดีถึง 37.62 นิวตัน และองค์ประกอบทางเคมีของกาบหมาก ส่วนมากมักเป็นเส้นใยซึ่งประกอบด้วย เซลลูโลส (cellulose) ร้อยละ 66, ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 19.59 และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ร้อยละ 7.40 นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบของของเหลว (aqueous extract) ร้อยละ 0.72, ไขมันและแว็กซ์ (fatty and waxy matters) ร้อยละ 5.06 และเพ็คติก (pectic matters) ร้อยละ 1.15 เป็นต้น (Poddar et al., 2016)

โดยกาบหมากที่นำมาศึกษานี้ เป็นของเหลือทิ้งที่ใช้ในการผลิตภาชนะใส่อาหารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากกลุ่มผลิตภัณฑ์จานกาบหมาก บ้านท่าดีหมี ตำบลปากตม อำเภอเขียงคาน จังหวัดเลย เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาง่าย มีปริมาณมาก และยังเป็น การนำของเหลือทิ้งกลับมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งจากการผลิตของกลุ่มผลิตภัณฑ์จานกาบหมาก บ้านท่าดีหมีอีกด้วย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยการกำจัดสีเมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีการดูดซับและรูปแบบการดูดซับจากผังกาบหมาก

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมผังกาบหมาก

นำเศษวัสดุผังกาบหมากตัดเป็นชิ้นขนาด 1x1 นิ้ว แล้วนำมาล้างน้ำให้สะอาดแล้วคลุมด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำไปตากลมให้แห้ง หลังจากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อน ด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องปั่นไฟฟ้า และนำไปร่อนคัดขนาดด้วยตะแกรง 0.45 มิลลิเมตร แล้วเก็บในถุงซิปล็อคเพื่อนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

2. การเตรียมน้ำสีสังเคราะห์

การเตรียมน้ำสีสังเคราะห์ในการศึกษานี้ ใช้สารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 10-80 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเตรียมด้วยผงเมทิลีนบลู (QR[®]) ความบริสุทธิ์เป็นแบบเกรดวิเคราะห์ (AR grade) ละลายในน้ำกลั่น เพื่อทดสอบปัจจัยในการดูดซับสีด้วยผังกาบหมากในขั้นตอนต่อไป

3. การทดสอบปัจจัยในการดูดซับ

3.1 ปริมาณตัวดูดซับ

เตรียมปริมาณผังกาบหมากน้ำหนัก 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพูนขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นสีเมทิลีนบลู 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปกรองเพื่อแยกสารละลายแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลือ และนำปริมาณผังกาบหมากที่เหมาะสมจากการศึกษานี้ ไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.2 ความเข้มข้นเมทิลีนบลู

เตรียมสารละลายสีเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพูนขนาด 125 มิลลิลิตร และชั่งปริมาณผังกาบหมากที่เหมาะสมตามข้อ 2.3.1 จากนั้นนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปกรองเพื่อแยกสารละลายแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลือ และนำความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูที่เหมาะสมจากการศึกษานี้ ไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.3 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

เวลาที่ใช้ในการดูดซับสีเมทิลีนบลู ได้แก่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง โดยชั่งปริมาณผังกาบหมากตามข้อ 2.3.1 และเตรียมความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูที่เหมาะสมในข้อ 2.3.2 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพูนขนาด 125 มิลลิลิตร จากนั้น

นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปกรองเพื่อแยกสารละลายแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลือ และนำเวลาที่ใช้ในการดูดซับสีเมทิลีนบลูที่เหมาะสมจากการศึกษานี้ ไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.4 ความเร็วรอบในการดูดซับ

ความเร็วรอบที่ใช้ในการดูดซับสีเมทิลีนบลู ได้แก่ 100, 150, 200, 250 และ 300 รอบ/นาที โดยชั่งปริมาณผงผงกบหมากที่เหมาะสมตามข้อ 2.3.1 ใส่ลงในสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นที่เหมาะสมตามข้อ 2.3.2 ปริมาตร 100 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร นำไปเขย่าตามเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่เหมาะสมตามข้อ 2.3.3 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปกรองเพื่อแยกสารละลายแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลือ และนำความเร็วรอบในการดูดซับสีเมทิลีนบลูที่เหมาะสมจากการศึกษานี้ ไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.5 ความเป็นกรด-ด่าง

เตรียมสารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเป็นกรด-ด่าง ได้แก่ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 โดยชั่งปริมาณผงกบหมากที่เหมาะสมตามข้อ 3.1 ใส่ลงในสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นที่เหมาะสมตามข้อ 2.3.2 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเขย่าตามเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่เหมาะสมในข้อ 2.3.3 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปกรองเพื่อแยกสารละลายแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลือต่อไป

สารละลายหลังจากการดูดซับที่ผ่านการกรองเรียบร้อยแล้วจากการทดลองปัจจัยต่างๆในการดูดซับ จะนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ด้วย เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer; Agilent Cary 60) ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร และนำมาคำนวณร้อยละการดูดซับสีเมทิลีนบลูด้วยผงกบหมาก ตามสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการดูดซับ} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีเมทิลีนบลู (มิลลิกรัม/ลิตร)

C_1 คือ ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัม/ลิตร)

4. รูปแบบการดูดซับ (adsorption isotherm)

การศึกษารูปแบบการดูดซับสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลของสีเมทิลีนบลูกับปริมาณผงกบหมากที่ใช้เป็นตัวดูดซับ (adsorbate) ที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งรูปแบบการดูดซับจะอธิบายโดยใช้ 2 สมการรูปแบบการดูดซับ ได้แก่ แลงเมียร์ไอโซเทอม (Langmuir adsorption isotherm) และฟรุนด์ลิชไอโซเทอม (Freundlich adsorption isotherm) ดังสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q_m b} + \frac{c_e}{q_m} \quad (2)$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม) ต่อปริมาณของตัวดูดซับ (กรัม) ที่ภาวะสมดุล

q_m คือ ปริมาณสารที่ดูดซับมากที่สุด (มิลลิกรัม/กรัม) ที่ถูกดูดซับเพื่อสร้างผ่านชั้นเดียว (monolayer)

b คือ ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ หรือค่าคงที่ของแลงเมียร์ (ลิตร/มิลลิกรัม)

c_e คือ ความเข้มข้นของตัวดูดซับที่สมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

$$\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log c_e \quad (3)$$

เมื่อ C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

q_e คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม) ต่อปริมาณของตัวดูดซับ (กรัม) ที่ภาวะสมดุล

k_f คือ ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น (มิลลิกรัม/กรัม)

n คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. การเตรียมผงกาบหมาก

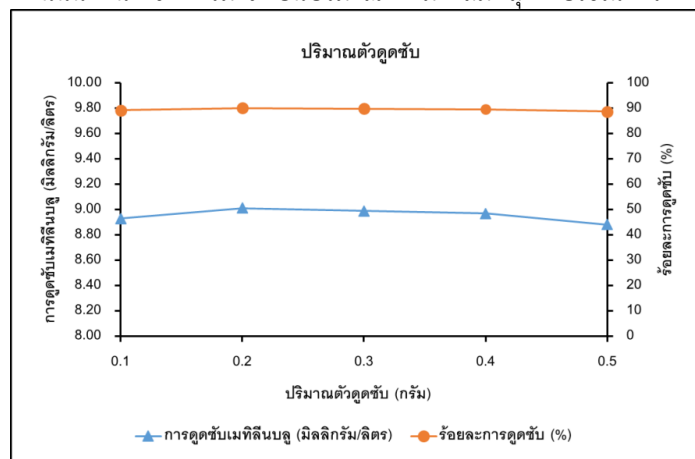
กาบหมากที่นำมาล้างทำความสะอาด คลุมด้วยผ้าขาวบางแล้วผึ่งลมให้แห้ง หลังจากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบรมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาบดให้เป็นผลละเอียดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า แล้วนำมาร่อนด้วยตะแกรงคัดขนาด 0.45 มิลลิเมตร จะได้ผงกาบหมากที่ละเอียดและมีสีน้ำตาล ดังภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 ผงกาบหมาก

2. การศึกษาปัจจัยในการดูดซับ

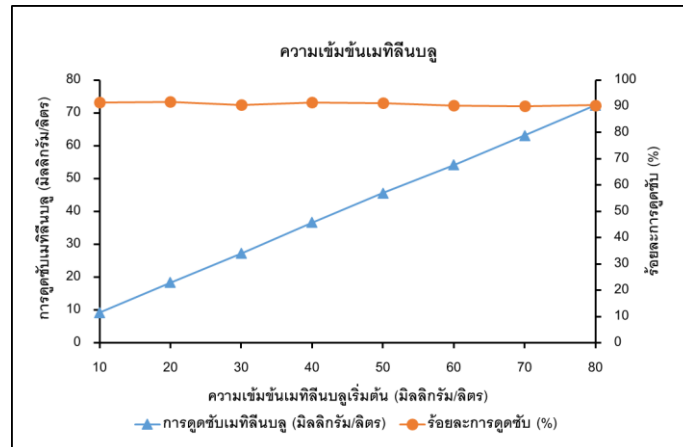
2.1 การศึกษาปริมาณของผงกาบหมากที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีเมทิลีนบลู น้ำหนัก 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 กรัม ในน้ำสีสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เวลา 3 ชั่วโมง พบว่าปริมาณผงกาบหมากที่ดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับ 0.2 กรัม ซึ่งสามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้สูงสุดเท่ากับ 9.012 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละ 90.1 ดังภาพประกอบที่ 2 โดยทั่วไปแล้วหากมีการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ เปรียบเสมือนการเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวดูดซับให้มากขึ้น (Özer, Dursun, and Özer 2007) แต่จากผลการศึกษานี้แม้ว่ามีการเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับให้มากกว่า 0.2 กรัม ผลการดูดซับเมทิลีนบลูยังมีแนวโน้มที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นน้ำหนัก 0.2 กรัม จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการศึกษาในขั้นต่อไป



ภาพประกอบที่ 2 ความเข้มข้นและร้อยละการดูดซับของเมทิลีนบลูด้วยผงกาบหมากที่ปริมาณแตกต่างกัน

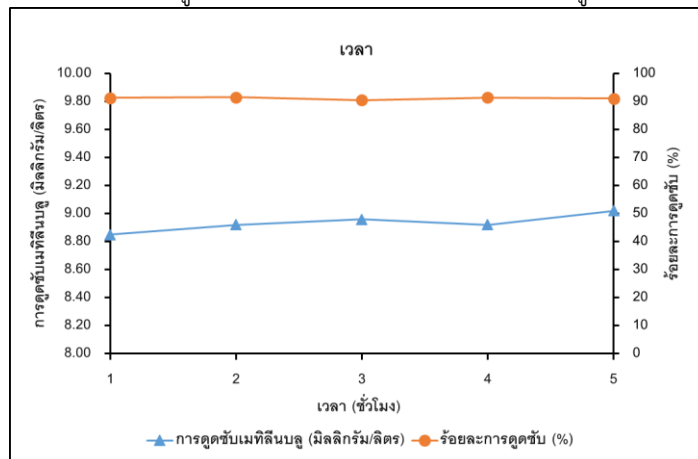
2.2 การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลีนบลูด้วยการดูดซับของผงกาบหมาก โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลีนบลูที่ทดลองดังนี้ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทุกความเข้มข้นใช้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และใส่ปริมาณผงกาบหมากปริมาณ 0.2 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นสีเมทิลีนบลูเริ่มต้นที่ผงกาบหมากสามารถดูดซับได้จนเกือบหมดอยู่ที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถดูดซับได้สูงสุดเท่ากับ 9.143 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละ 91.4 แสดงดังภาพประกอบที่ 3 ซึ่งความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของเมทิลีนบลูในสารละลายกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ (Suttanan et al. 2011) แต่ความเข้มข้นที่มากเกินไปอาจทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลงได้เช่นกัน

(Ouengsirirawad and Ruangviriyachai 2016) ดังนั้นที่ความเข้มข้นของเมทิลีนบลู 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงเป็นความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดของการดูดซับด้วยผงกาบหมาก



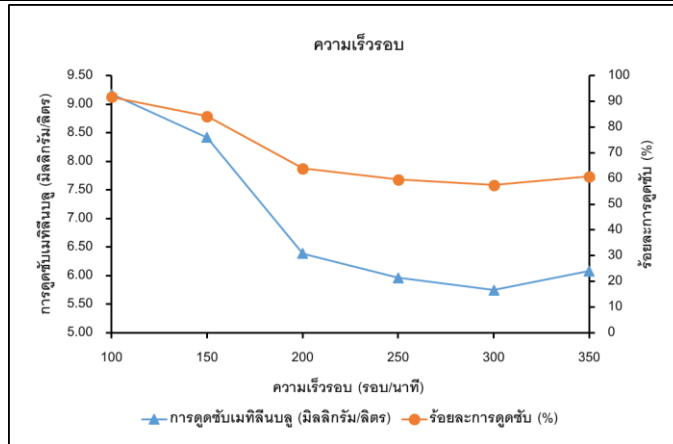
ภาพประกอบที่ 3 ความเข้มข้นและร้อยละการดูดซับของเมทิลีนบลูด้วยผงกาบหมากที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

2.3 การศึกษาเวลาในการดูดซับสีเมทิลีนบลูของผงกาบหมาก โดยใช้เวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง เติมผงกาบหมาก 0.2 กรัม ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที ผลการศึกษาพบว่าผงกาบหมากสามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูสูงที่สุด เท่ากับ 9.021 หรือร้อยละ 90.2 ที่เวลา 5 ชั่วโมง แสดงดังภาพประกอบที่ 4 การเพิ่มเวลาในการดูดซับเป็นการเพิ่มโอกาสให้สีเมทิลีนบลูได้มีการสัมผัสกับตัวดูดซับได้นานขึ้น (Ouengsirirawad and Ruangviriyachai 2016) จึงทำให้เวลาการดูดซับที่ 5 ชั่วโมงมีความเหมาะสมต่อการดูดซับสีของผงกาบหมาก



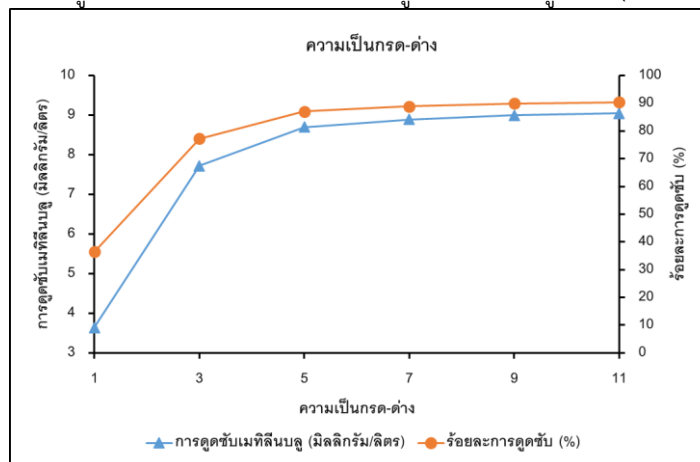
ภาพประกอบที่ 4 ความเข้มข้นและร้อยละการดูดซับของเมทิลีนบลูด้วยผงกาบหมากที่เวลาแตกต่างกัน

2.4 การศึกษาความเร็วรอบในการเขย่า กำหนดความเร็วรอบที่ 100, 150, 200, 250, 300 และ 350 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เติมผงกาบหมาก 0.2 กรัม ใส่ในน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พบว่าผงกาบหมากสามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูสูงที่สุด เท่ากับ 9.179 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละ 91.8 ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที แสดงดังภาพประกอบที่ 5 ซึ่งตามทฤษฎีการเพิ่มความเร็วยิ่งขึ้น จะทำให้ความสามารถของการดูดซับสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มโอกาสสัมผัสกันระหว่างตัวถูกดูดซับและดูดซับให้มากขึ้น (Ouengsirirawad and Ruangviriyachai 2016) แต่การศึกษานี้พบว่าความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที มีความเหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูของผงกาบหมาก



ภาพประกอบที่ 5 ความเข้มข้นและร้อยละการดูดซับของเมทิลีนบลูด้วยผงาบหมากที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน

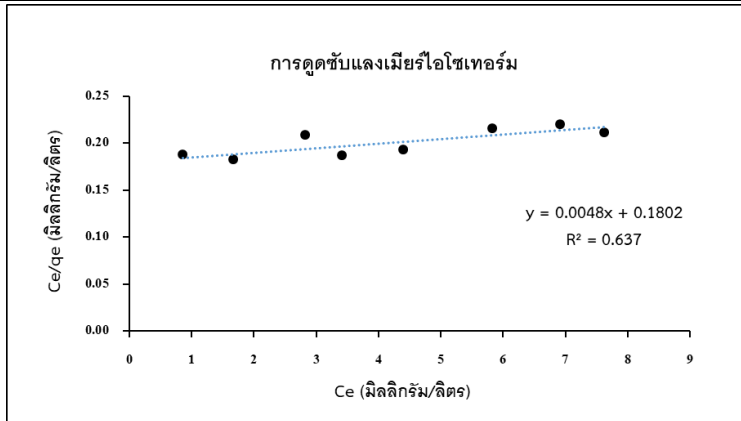
2.5 การศึกษาความเป็นกรด-ด่าง โดยความเป็นกรด-ด่างที่ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 เติมผงาบหมาก 0.2 กรัม ในน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นเมทิลีนบลู 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าผงาบหมากสามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้สูงที่สุด เท่ากับ 9.04 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละ 90.4 ที่ความเป็นกรด-ด่างที่ เท่ากับ 11 แสดงดังภาพประกอบที่ 6 ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายมีผลต่อการดูดซับเมทิลีนบลู ซึ่งผงาบหมากมีความสามารถดูดซับในสภาวะสารละลายที่เป็นด่างได้ดีกว่าสภาวะที่เป็นกรด เพราะเมทิลีนบลูเป็นสีย้อมประเภทแคทไอออนิก (cationic dyes) เมื่อนำมาละลายน้ำจะแตกตัวในรูปแคทไอออน (cation) และรีดิวซ์ไอออน (reduced ion) เมื่ออยู่ในสภาวะกรดจะเกิดการแตกตัวให้โปรตอนและอาจเกาะติดบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับจึงทำให้ในสภาวะกรดมีการดูดซับเมทิลีนบลูลดลง (Muhamad et al. 2017)



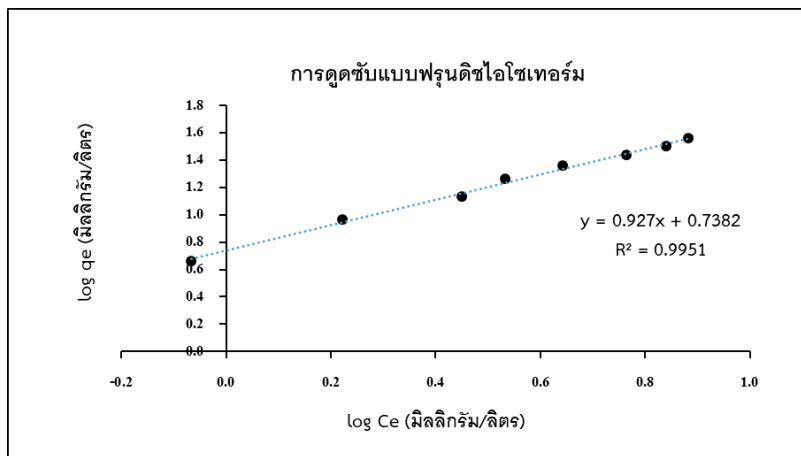
ภาพประกอบที่ 6 ความเข้มข้นและร้อยละการดูดซับของเมทิลีนบลูด้วยผงาบหมากที่ความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน

3. รูปแบบการดูดซับ (adsorption isotherm)

การศึกษารูปแบบการดูดซับสีเมทิลีนบลูด้วยผงาบหมาก สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อปริมาณผงาบหมากกับความเข้มข้นสีเมทิลีนบลูที่ยังคงเหลืออยู่ในสภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่ จากผลการศึกษาและนำมาคำนวณด้วยสมการแลงเมียร์ไอโซเทอร์มและสมการฟรุนดิชไอโซเทอร์ม ดังสมการที่ (2) และ (3) ผลของรูปแบบการดูดซับที่ได้ทั้งแบบแลงเมียร์ไอโซเทอร์มและแบบฟรุนดิชไอโซเทอร์มแสดงดังภาพประกอบที่ 7 และ 8



ภาพประกอบที่ 7 การดูดซับแบบแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม



ภาพประกอบที่ 8 การดูดซับแบบฟรุนดิชไอโซเทอร์ม

จากสมการที่ (1) และ (2) แลงเมียร์ไอโซเทอร์มและฟรุนดิชไอโซเทอร์ม พบว่ามีความสอดคล้องกับการดูดซับแบบฟรุนดิชไอโซเทอมมากกว่าแลงเมียร์ไอโซเทอม โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของการดูดซับฟรุนดิชไอโซเทอมมีค่า 0.9951 ซึ่งมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการดูดซับแลงเมียร์ไอโซเทอมที่ 0.6370 ซึ่งแสดงว่าการดูดซับดังกล่าวเป็นทั้งแบบกายภาพและเคมีที่ไม่สามารถผันกลับได้ และพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (heterogeneous) หรือพื้นผิวมีลักษณะขรุขระ โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของผงกาบหมากนั้นจะเป็นแบบหลายชั้น (multilayer) ซึ่งสอดคล้องกับการกำจัดสีเมทิลีนบลูด้วยเปลือกหน่อไม้แห้ง ที่มีรูปแบบการดูดซับเป็นฟรุนดิชไอโซเทอร์ม ($R^2 = 0.988$) (Ouengsirirawad and Ruangviriyachai 2016) และการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้แกลบดัดแปลง ที่มีการดูดซับเป็นแบบฟรุนดิชไอโซเทอร์ม ($R^2 = 0.9704$) เช่นกัน (Suttanan et al. 2011) ค่าคงที่ K_F และ $1/n$ ของการดูดซับเมทิลีนบลูแบบแลงเมียร์ไอโซเทอร์มและฟรุนดิชไอโซเทอมของผงกาบหมาก แสดงดังตารางที่ 1 การดูดซับแบบแลงเมียร์ไอโซเทอมมีค่าเท่ากับ 902.82 และ 7.424 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่า $1/n$ ที่ได้จากสมการมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าบริเวณพื้นผิวของผงกาบหมากที่ใช้เป็นตัวดูดซับมีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับสีเมทิลีนบลู

ตารางที่ 1 ค่าคงที่จากสมการการดูดซับเมทิลีนบลูแบบแลงเมียร์ไอโซเทอร์มและฟรุนดิชไอโซเทอร์มของผงกาบหมาก

การดูดซับแบบแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม (Langmuir Adsorption Isotherm)			การดูดซับแบบฟรุนดิชไอโซเทอร์ม (Freundlich Adsorption Isotherm)		
q_m (มิลลิกรัม/ลิตร)	b (ลิตร/มิลลิกรัม)	R^2	K_F (มิลลิกรัม/ลิตร)	$1/n$	R^2
208.33	0.030	0.6370	902.82	7.424	0.9951

สรุปผลการทดลอง

การนำกาบหมากซึ่งเป็นของเหลือทิ้งมาดูดซับสีเมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการดูดซับ และรูปแบบการดูดซับ โดยเตรียมกาบหมากให้เป็นผงและทดสอบปัจจัยการดูดซับได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ, ความเข้มข้นของเมทิลีนบลู, เวลา, ความเร็วรอบในการดูดซับ และความเป็นกรด-ด่าง โดยวิเคราะห์เมทิลีนบลูหลังจากดูดซับแล้ว ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยผงกาบหมากที่เหมาะสมมีดังนี้ ปริมาณตัวดูดซับที่ 0.2 กรัม, ความเข้มข้นเมทิลีนบลู 10 มิลลิกรัม/ลิตร, ใช้เวลาดูดซับ 5 ชั่วโมง, ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที และความเป็นกรด-ด่างที่ 11 โดยการดูดซับเป็นแบบฟรอนดิชไอโซเทอร์ม ซึ่งมีค่า R^2 ที่ 0.9951 แสดงว่าการดูดซับนี้เป็นแบบกายภาพและเคมี พื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบหลายชั้นและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งแสดงว่าผงกาบหมากสามารถใช้เป็นตัวดูดซับสีเมทิลีนบลูในน้ำเสียได้ อีกทั้งยังหาง่าย ราคาถูก เป็นการนำของเหลือทิ้งกลับมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ และช่วยลดปริมาณของเสียให้ลดลงอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (2559). **วิธีบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อม**. <<http://www.sptn.dss.go.th/otopinfo/index.php/en/knowledge/interesting-articles/101-2016-11-15-07-10-54>> (Retrieved September 9, 2020).
- กระทรวงพลังงาน. (2557). **คู่มือพัฒนาบุคลากรด้านการอนุรักษ์พลังงานจากกรณีตัวอย่างที่ประสบผลสำเร็จอุตสาหกรรมสิ่งทอ**. edited by กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพฯ: กรุงเทพฯ.
- นิตยา ผาสุขพันธุ์. (2559). การบำบัดสีย้อมผ้าจากน้ำเสียโรงงานย้อมผ้าด้วยจุลินทรีย์. **วารสารสิ่งแวดล้อม 19** (1).
- ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2556). **คู่มือแนวทางการจัดการสีน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ**.
- Muhamad, Nisaporn, Somphop Paothong, Ubol Tansom, and Piyasiri Soontornnon. (2017). **Adsorptive Removal of Textile Dye by Spent Tea Leaves**. Yala Rajabhat University.
- Ouengsirisawad, Pacharawan, and Chalerm Ruangviriyachai. (2016). **Adsorption of Methylene Blue Dye Using Dried Shell of Bamboo Shoot**. Pp. 343–50 in.
- Özer, Dursun, Gülbeyi Dursun, and Ahmet Özer. (2007). Methylene Blue Adsorption from Aqueous Solution by Dehydrated Peanut Hull. **Journal of Hazardous Materials**, 144(1–2):171–79.
- Pleawjit, Navy. (2019). **A Research of Betel Nut Leaf Stalk for Develop to Home Textiles**. 90–100.
- Poddar, P., MS Islam, S. Sultana, HP Nur, and AMS Chowdhury. (2016). Mechanical and Thermal Properties of Short Arecanut Leaf Sheath Fiber Reinforced Polypropylene Composites: TGA, DSC and SEM Analysis. **Journal of Material Science & Engineering**, 5(5).
- Suttanan, Rawin, Kowit Piyamongkala, Pseudo-first Order, and Pseudo-second Order. (2011). Kinetic and Thermodynamic Adsorption of Methylene Blue by Modified Rice Husk. **The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok**, 21(2).