

การศึกษาเปรียบเทียบวัสดุดูดซับต้นทุนต่ำสำหรับการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลู

Comparative Study of Low-cost Adsorbents for Methylene Blue Removal

อภิวีร์ บุญกุลธนพัฒน์ กมลทิพย์ ตีบุคคำ ธนิตา วัชรรัมย์ และ ขวัญเนตร สมบัติสมภพ*

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail : kwannate.s@cit.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยวัสดุดูดซับต้นทุนต่ำ 3 ชนิด ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านจากไม้ไผ่ โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับเมทิลีนบลู ได้แก่ ปริมาณวัสดุดูดซับ (0.5-2.0 กรัม) ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (0-120 นาที) ความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลู (65-140 มิลลิกรัมต่อกรัม) และค่าพีเอช (3-9) และศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์และฟรุนดิช จากการศึกษา พบว่า วัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณ และระยะเวลาที่เหมาะสม เท่ากับ 2 กรัม และ 90 นาที ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดย้อมเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ มีค่าเท่ากับ 75.48, 23.90 และ 16.57 % ตามลำดับ จากการศึกษาไอโซเทอม พบว่า กลไกการดูดซับของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิดสอดคล้องกับสมการ Langmuir โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 18.73, 5.18 และ 0.81 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์ สีเมทิลีนบลู วัสดุดูดซับต้นทุนต่ำ ไอโซเทอม

Abstract

The objective of this study is to compare methylene blue dye removal ability by 3 types of low-cost adsorbent including activated carbon charcoal and bamboo charcoal. The effects of adsorbent dosage (0.5-2.0g), contact time (0-120min), initial methylene blue concentration (65-140mg/g) and pH solution (3-9) were investigated. The adsorption isotherms were analyzed by using Langmuir and Freundlich equations. The experimental results found that the optimum adsorbent dosage and contact time of the low-cost adsorbents were 2 g and 90 min, respectively. The removal efficiencies of methylene blue by Activated carbon, Charcoal and Bamboo charcoal were 75.48, 23.90 and 16.57 %, respectively. Adsorption data were fit to Langmuir isotherm model. The maximum adsorption capacities of activated carbon, charcoal and bamboo charcoal were 18.73, 5.18 and 0.81 mg/g, respectively. Therefore, Activated carbon could be an effective adsorbent for methylene blue dye removal.

Keywords: Activated carbon, Methylene blue, Low-cost adsorbent, Isotherm

* Corresponding author, e-mail: kwannate.s@cit.kmutnb.ac.th

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอเพิ่มจำนวนมากขึ้นทุกปี ส่งผลให้เกิดปัญหาในเรื่องน้ำเสีย ปัญหาน้ำเสียเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีผลกระทบต่อเป็นวงกว้างโดยเฉพาะกับชุมชนบริเวณโดยรอบของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งในกระบวนการผลิตสิ่งทอนั้นจะใช้น้ำในส่วนของกระบวนการฟอกย้อม ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมี และสีย้อมเพื่อเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติของเส้นใย ปัญหาที่พบคือโรงงานอุตสาหกรรมไม่ทำการบำบัดน้ำเสียที่มีสารเคมี และความเข้มข้นของสีเจือปนอยู่ในปริมาณมากก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เมื่อน้ำเสียเหล่านี้ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำแล้วจะเป็นเรื่องยากที่จะกำจัดได้เพราะสีย้อมที่ปนเปื้อนลงใต้น้ำมีการย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก และยังคงผลกระทบต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำอีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันการกำจัดน้ำเสียที่เกิดจากสีย้อมมีด้วยกันอยู่หลายวิธี อันได้แก่ วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ

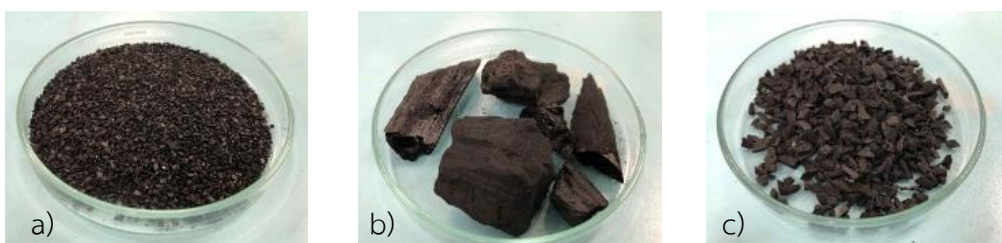
จากการศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมย้อมผ้า พบว่าในปัจจุบันมีวิธีในการกำจัดสีย้อมผ้าอยู่หลากหลายวิธีเช่น กระบวนการการตกตะกอนทางเคมี(Chemical coagulation-flocculation) ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน(Aerobic treatment process) หรือกระบวนการการดูดซับด้วยสารดูดซับ (Absorption) เป็นต้น ในกระบวนการการตกตะกอนทางเคมีจะเกิดตะกอนจากสารเคมีในปริมาณมาก และยากต่อการกำจัด ในส่วนระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน จะใช้เวลานานในการกำจัดสี และต้องใช้แหล่งพลังงานมาก และค่าใช้จ่ายที่สูง ซึ่งในกระบวนการการดูดซับนี้ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ไม่ใช้สารเคมีในการบำบัด ค่าใช้จ่ายน้อย และใช้เวลาในการบำบัดไม่นาน

ดังนั้นจึงได้เลือกใช้วัสดุทางธรรมชาติที่ใช้ในการดูดซับมี 3 ชนิดคือ ถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ ซึ่งวัสดุที่กล่าวมาสามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป เป็นวัสดุที่ทำจากธรรมชาติไม่มีสารเคมีปนเปื้อน และถ่านมีคุณสมบัติที่ช่วยในเรื่องการดูดซับมวลสารขนาดเล็ก กลิ่น และสี ได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เพื่อนำมาศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ และช่วยในเรื่องระบบบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมปนเปื้อนเพื่อลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมวัสดุดูดซับ

นำถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ มาทำการลดขนาดวัสดุ และนำมาบดพอประมาณในถ้วยบดสารให้มีขนาดเล็กน้อย นำวัสดุดูดซับมาล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วนำเข้าตู้อบ 110 องศา เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านทั้ง 3 ชนิด มาร่อนคัดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 16 และตะแกรงเบอร์ 30 โดยจะคัดเฉพาะวัสดุที่สามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 16 แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 30 เท่านั้น จากนั้นนำวัสดุดูดซับดังกล่าวมาใส่ในปิ๊กเกอร์ และนำมาเก็บไว้ในหม้อดูดความชื้น เพื่อรอการดำเนินการทดลองต่อไป



รูปที่ 1 a) ถ่านกัมมันต์ b) ถ่านหุงต้ม และ c) ถ่านไม้ไผ่

2.2 การเตรียมสารละลายเมทิลีนบลู

ในการทดลองจะเตรียมสารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 1000 mg/l โดยชั่งเมทิลีนบลูของบริษัท UNILAB (C.I. 52015) เป็นปริมาณ 2.225 g ผสมในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเท่ากับ 2 l จากนั้นทำการเจือจางสี่อ้อมเมทิลีนบลูความเข้มข้นเท่ากับ 2 - 10 mg/l สำหรับทำกราฟมาตรฐานของสี่อ้อมเมทิลีนบลู และทำการเจือจางสี่อ้อมเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 65 - 140 mg/l สำหรับทำการศึกษาปัจจัยความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านทั้ง 3 ชนิด

2.3 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสี่อ้อมเมทิลีนบลูได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ โดยแปรค่าเท่ากับ 0.50 1.00 1.50 และ 2.00 g ระยะเวลาในการดูดซับเท่ากับ 30 60 90 และ 120 min ความเข้มข้นสี่อ้อมเมทิลีนบลูเท่ากับ 65 90 115 และ 140 mg/l และค่า pH เท่ากับ 3 5 7 และ 9 โดยเริ่มต้นจากการนำวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด ที่เตรียมไว้ไปทำการผสมกับสี่อ้อมเมทิลีนบลูใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรจากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นระยะเวลา 90 min อุณหภูมิ 25 °C หลังจากผ่านขั้นตอนของการดูดซับแล้วจึงนำสารละลายเมทิลีนบลูมาทำการแยกวัสดุดูดซับออก เพื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 665 nm ด้วยการกรองผ่านตะแกรงร่อนขนาด 300 µm จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่หลังจากทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับอื่นๆแล้วจึงนำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับของสี่อ้อมเมทิลีนบลู ตามสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$\text{Adsorption percent}(\%) = \left(\frac{C_0 - C_1}{C_0} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสี่อ้อมเมทิลีนบลู (mg/l)

C_1 คือ ความเข้มข้นที่เหลืออยู่หลังการดูดซับของสี่อ้อมเมทิลีนบลู (mg/l)

$$q_e = \frac{C_0 - C_1}{W} \cdot V \quad (2)$$

q_e คือความสามารถในการดูดซับสี่อ้อมเมทิลีนบลู (mg/g)

V คือ ปริมาณของสี่อ้อมเมทิลีนบลู (l)

W คือ ปริมาณของวัสดุดูดซับ (g)

เมื่อได้ผลการทดลองจากการศึกษาจากปัจจัยความเข้มข้นแล้วนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ของสมการไอโซเทอมของ Langmuir และ Freundlich ดังสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับได้สูงสุดของซีโอไลต์สังเคราะห์ Na-A และซีโอไลต์มาตรฐาน 4A

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{C_1} \cdot \frac{1}{K_L q_m} + \frac{1}{q_m} \quad (3)$$

q_m คือ ปริมาณสูงสุดของสีย้อมเมทิลีนบลูที่สามารถดูดซับแบบชั้นเดียวต่อปริมาณซีโอไลต์ (mg/g)

K_L คือ ค่าคงที่ของสมการ Langmuir

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C + \log K_F \quad (4)$$

K_F คือ ค่าคงที่ของสมการ Freundlich

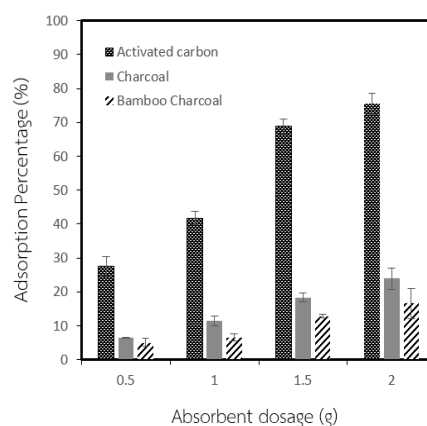
$\frac{1}{n}$ คือ ค่าที่บ่งบอกความสามารถในการดูดซับ

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์แบบสมการเส้นตรงระหว่างค่า $1/q_e$ และ $1/C$ จะได้ค่า q_m เป็นค่าที่จุดตัดแกนตั้ง และค่า K_L เป็นค่าความชันของกราฟเส้นตรงจากสมการเส้นตรงของไอโซเทอม Langmuir

3. ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 ผลของปริมาณวัสดุดูดซับ

ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ เท่ากับ 0.50 1.00 1.50 และ 2.00 g โดยมีค่า pH ที่สภาวะปกติของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูเท่ากับ 5.29 (รูปที่ 2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัสดุดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณวัสดุดูดซับที่เพิ่มขึ้น แปรผันตรงกับปริมาณพื้นที่ผิวในการดูดซับสี ดังนั้นการเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลีนบลูเพิ่มสูงขึ้น (Muhamad et al., 2016) เมื่อพิจารณาวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณ 2 g สามารถให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูได้มากที่สุด เท่ากับ 75.48 23.90 และ 16.57 % ตามลำดับ

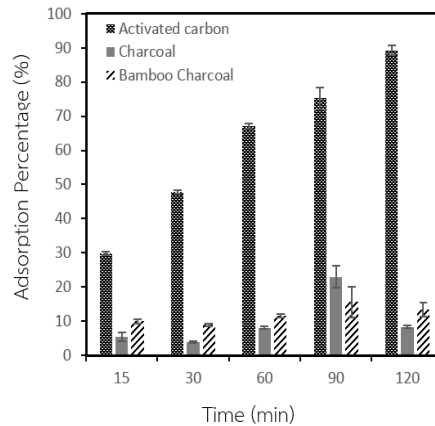


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัสดุดูดซับกับประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

3.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการดูดซับและประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู(รูปที่ 3)โดยใช้ระยะเวลาในการดูดซับเท่ากับ 30 - 120 min จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีพื้นที่ผิวเท่ากับ $650.63 \text{ m}^2/\text{g}$

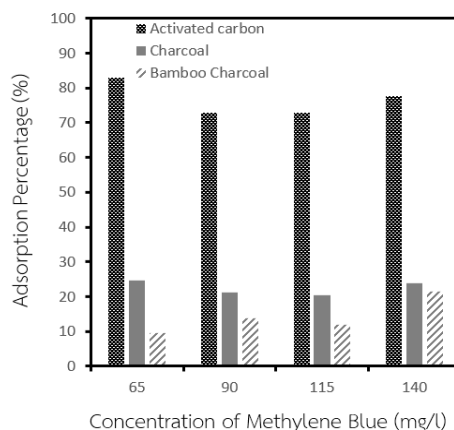
ประสิทธิภาพในการดูดซับที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ที่ระยะเวลา 90 min ประสิทธิภาพในการดูดซับยังคงเกิดขึ้นแต่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนเข้าสู่สภาวะสมดุล เท่ากับ 75.20 23.04 และ 15.63 % ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ ส่งผลให้เพิ่มโอกาสในการสัมผัสกันระหว่างโมเลกุลของสีเมทิลีนบลูและผิวของตัวดูดซับจึงทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ (Srimoon et al.,2016)



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

3.3 ผลความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลู

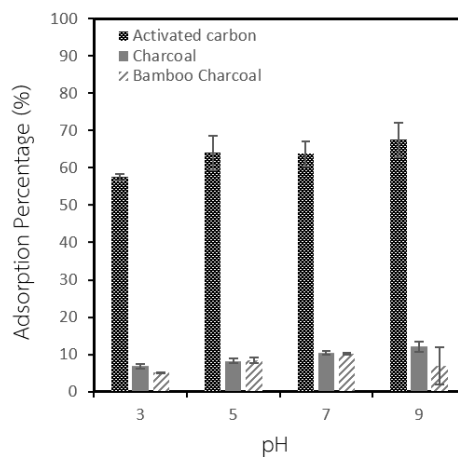
จากผลการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิดเมื่อทำการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลูเท่ากับ 65 - 140 mg/l ผลการทดลอง พบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ (รูปที่ 4) พบว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลู 65 - 140 mg/l ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูมากที่สุดที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 82.93, 72.84, 72.89 และ 77.59 % ตามลำดับ สำหรับถ่านหุงต้มมีค่าเท่ากับ 24.60, 21.17, 20.38 และ 23.92% ตามลำดับ และถ่านไม้ไผ่ มีค่าเท่ากับ 9.44, 13.74, 11.89 และ 21.49% ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากการเพิ่มโมเลกุลของตัวถูกดูดซับในสารละลาย ส่งผลในการเพิ่มโอกาสในการสัมผัสกับผิวของวัสดุดูดซับมากขึ้น จึงมีค่าประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่เพิ่มมากขึ้น(Rawin et al.,2011)



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลีนบลู

3.4 ผลของค่า pH ของสีย้อมเมทิลีนบลู

จากการศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ pH ระหว่าง 3 - 9 พบว่า ถ่านกัมมันต์ มีค่าประสิทธิภาพในการดูดซับ (รูปที่ 5) ระหว่าง 57 - 67 % ถ่านหุงต้ม มีค่าระหว่าง 6 - 12 % และถ่านไม้ไผ่ มีค่าระหว่าง 5 - 6 % ซึ่งเป็นช่วงค่า pH ที่เห็นความแตกต่างของความสามารถในการดูดซับน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากที่สภาวะของสารละลายที่มีค่า pH ต่ำ จะเกิดประจุบวกเกาะที่ผิวของวัสดุดูดซับ (Priyantha et al., 2015) โดยสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูมีประจุเป็นบวก ทำให้ประจุบวกเกิดการผลักกัน จึงทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูใกล้เคียงกันในทุกช่วงค่า pH ที่ทำการศึกษา



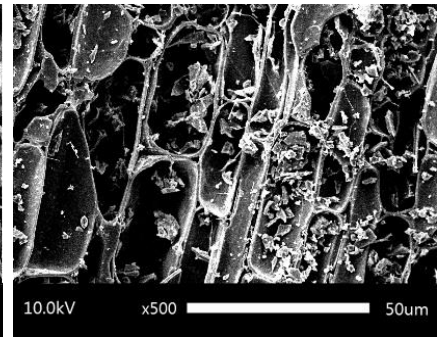
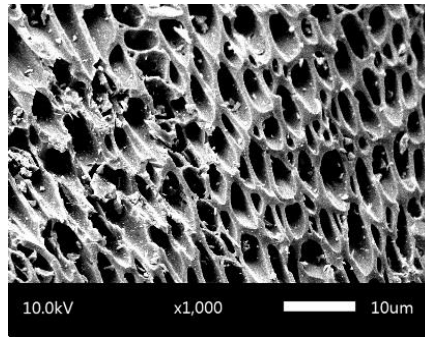
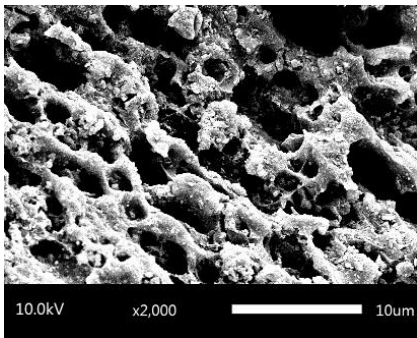
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

3.5 ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

จากตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบไอโซเทอมของสีย้อมเมทิลีนบลูจากสมการ Langmuir และสมการ Freundlich โดยใช้วัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด พบว่าไอโซเทอมของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด ที่มีความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูเริ่มต้นอยู่ในช่วง 65-140 mg/l เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น (R^2) การดูดซับสีเมทิลีนบลูสอดคล้องกับสมการของ Langmuir มากกว่า Freundlich ซึ่งอธิบายได้ว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงที่สุด เนื่องจากถ่านกัมมันต์ มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากถึง $650.63 \text{ m}^2/\text{g}$ ซึ่งมากกว่าถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ ที่มีพื้นที่ผิวดูดซับเพียง 3.79 และ $3.32 \text{ m}^2/\text{g}$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า $1/n$ ของสมการ Freundlich พบว่าถ่านกัมมันต์และถ่านหุงต้ม มีค่า $1/n$ เท่ากับ 0.87 และ 0.89 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 อธิบายได้ว่าวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นวัสดุดูดซับที่มีพื้นที่ผิวดูดซับที่จำกัด ซึ่งมีความสอดคล้องกับกลไกการดูดซับแบบพื้นผิวชั้นเดียวของสมการ Langmuir ไม่มีการซ้อนทับกันพื้นที่ว่างบนผิวของวัสดุดูดซับจับกับโมเลกุลสารได้เพียง 1 โมเลกุล (Sae-ui et al., 2018)

จากรูปที่ 6 7 และ 8 แสดงการศึกษาลักษณะโครงสร้างอณูฐานวิทยา และรูปร่างลักษณะของถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จากรูปลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์

มีรูปร่างของรูพรุนที่เป็นรูปทรงอิสระ ในขณะที่ถ่านหุงต้มมีรูปร่างของรูพรุนที่มีสัดส่วนสมมาตร และรูปร่างรูพรุนของถ่านไม้ไผ่ไม่มีลักษณะคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า และตั้งันกว่าถ่านชนิดอื่นๆ



รูปที่ 6 ลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์

รูปที่ 7 ลักษณะพื้นผิวของถ่านหุงต้ม

รูปที่ 8 ลักษณะพื้นผิวของถ่านไม้ไผ่

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ของไอโซเทอมเปรียบเทียบวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ

Adsorbent	Surface area (m ² /g)	Langmuir			Freundlich			Reference	Cost (Baht/kg)
		q _m (mg/g)	K _L	R ²	1/n	K _f	R ²		
Activated carbon	650.63	18.73	0.003	0.9329	0.867	0.072	0.9420	This study	50
Charcoal	3.79	5.18	0.003	0.8792	0.885	0.019	0.8851	This study	20
Bamboo charcoal	3.32	0.81	0.004	0.9511	3.632	0.002	0.9015	This study	530

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความสามารถในการดูดซับสี้อมเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับได้แก่ปริมาณวัสดุดูดซับ ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ความเข้มข้นของสี้อมเมทิลีนบลู และ ค่า pH พบว่า ปริมาณวัสดุดูดซับ 2 g ถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับ 75.48 23.90 และ 16.57 % ตามลำดับ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับเท่ากับ 90 min ประสิทธิภาพในการดูดซับที่ pH ในช่วงระหว่าง 3 - 9 ของวัสดุดูดซับแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน จากการศึกษา ไอโซเทอมการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ สอดคล้องกับ ไอโซเทอม Langmuir มากกว่า ซึ่งการเลือกใช้วัสดุดูดซับที่เหมาะสม จะช่วยลดปริมาณสีจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและสารเคมีจากภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

6. เอกสารอ้างอิง

- Muhamad N., Paothong S., Tansom U and Soontornnon P., (2016), **Adsorption Removal of Textile Dye by Spent Tea Leaves**, Yala Rajabhat University, Pg 35.
- Rawin, S., and Kowit, P. (2016). **Kinetic and Thermodynamic Adsorption of Methylene blue by Modified Rice Husk**, The Journal of KMUTNB, Vol.21 No2, Pg 337-348.
- Priyantha, N., Lim, L. B. L. and Dahri, M. K., (2015), **Dragon fruit skin as a potential biosorbent for the removal of methylene blue from aqueous solution**, International Food Research Journal University of Peradeniya, Sri Lanka, Pg.2141-2148.
- Srimoon, R. (2016). Dyes treatment in wastewater using adsorption processes. *KKU Sci. J.* 44(3) Pg419-434.
- Sae-ui P., Kongkaew T and Wongsuk T., (2018), **Adsorption of Methylene Blue dye by Zeolite Na-A and Standard Zeolite 4A**, SAU National Interdisciplinary Conference.
-