วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.09.002

บทความวิจัย

การกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้วัสดุดูดซับในท้องถิ่น

อภิวัชร์ บุญกูลธนพัฒน์ กมลทิพย์ ดีบุกคำ และ ขวัญเนตร สมบัติสมภพ*

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: kwannate.s@cit.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ: 10 กรกฎาคม 2564; วันที่ทบทวนบทความ: 19 สิงหาคม 2564; วันที่ตอบรับบทความ: 30 สิงหาคม 2564
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 21 กันยายน 2564

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยวัสดุดูดซับ 3 ชนิดได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านจากไม้ไผ่ โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ สีย้อมเมทิลีนบลูได้แก่ ปริมาณวัสดุดูดซับ (0.5-2.0 g) ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (0-120 min) ความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลู (65-140 mg/L) และค่าพีเอช (3-9) และศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์และฟรุนดิช จากการศึกษา พบว่า วัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณ และระยะเวลาที่เหมาะสม เท่ากับ 2 g และ 90 min ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ มีค่าเท่ากับ 75.48 23.90 และ 16.57% ตามลำดับ จากการศึกษาไอโซเทอม พบว่า กลไกการดูดซับของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิดสอดคล้องกับสมการ Langmuir โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 18.73 5.18 และ 0.81 mg/g ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับสูงสุดต่อพื้นที่ผิวในการดูดซับของถ่านแต่ละชนิด พบว่า ถ่านหุงต้มมีค่าสูงที่สุด รองลงมาถ่านไม้ไผ่ และ ถ่านกัมมันต์ ตามลำดับ ถ้าพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ถ่านหุงต้มมีราคาถูกที่สุด ดังนั้น ถ่านหุงต้มจึงเป็นวัสดุดูดซับในท้องถิ่นที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้ในการกำจัดสีย้อมเมทิลลีนบลู

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์; สีเมทิลีนบลู; วัสดุดูดซับในท้องถิ่น; ไอโซเทอม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.09.002

บทความวิจัย

Removal of Methylene Blue Dye using Local Adsorbent Materials

Apiwatch Boonkulthanapat, Kamontip Deebukkum and Kwannate Sombatsompop*

Department of Civil and Environmental Engineering and Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

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

Received: 10 July 2021; Revised: 19 August 2021; Accepted: 30 August 2021
Online Published: 21 September 2021

Abstract: The objective of this study is to compare methylene blue dye removal ability by 3 types of adsorbent materials including activated carbon, charcoal and bamboo charcoal. The effects of adsorbent dosage (0.5-2.0 g), contact time (0-120 min), initial methylene blue concentration (65-140 mg/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. When considering the maximum adsorption capacity per adsorption surface area of each adsorbent material, it was found that the charcoal had the highest value followed by bamboo charcoal and activated carbon respectively. If considering the economic value charcoal is the cheapest. Therefore, charcoal was the suitable local absorbent material which can be used for methylene blue dye removal.

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

บทความวิจัย

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.09.002

1. บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย ปัจจุบันมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกปี ส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียจากการปล่อยน้ำในกระบวนการฟอกย้อมลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ปัญหาน้ำเสียจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีผลกระทบเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะกับชุมชนบริเวณโดยรอบของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งในกระบวนการผลิตสิ่งทอนั้นจะใช้น้ำในส่วนของการฟอกย้อม ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมี และสีย้อมเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเส้นใย กระบวนการดังกล่าวจะใช้น้ำในปริมาณมาก น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอเกิดขึ้นจาก 2 แหล่งใหญ่ ได้แก่ น้ำเสียที่ใช้ในการฟอกย้อม น้ำเสียในส่วนนี้จะมีปริมาณน้อย แต่จะมีความเข้มข้นมาก และน้ำเสียที่ได้มาจากการซักล้างหลังการฟอกย้อม น้ำเสียในส่วนนี้มีปริมาณมาก แต่ความเข้มข้นน้อยกว่าส่วนแรกค่อนข้างมาก นอกจากนี้ปัญหาที่พบคือโรงงานอุตสาหกรรมไม่ได้ทำการบำบัดน้ำเสียที่มีสารเคมี และความเข้มข้นของสีเจือปนอยู่ในปริมาณมาก ก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนี้ สีย้อมยังสามารถส่งผลกระทบต่อพืชน้ำ เนื่องจาก สีที่ปนเปื้อนในน้ำจะลดการส่องผ่านของแสงแดดผ่านน้ำ ทำให้พืชไม่สามารถได้รับแสงอย่างเต็มที่เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้นการกำจัดสารสีดังกล่าวออกจากน้ำเสียจึงมีความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม เพราะแม้แต่สีย้อมในน้ำเพียงเล็กน้อยก็อาจเป็นพิษและมองเห็นได้ชัดเจนเมื่อมีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ เมื่อน้ำเสียเหล่านี้ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำแล้วจะเป็นเรื่องยากที่จะกำจัดได้เพราะสีย้อมที่ปนเปื้อนลงในน้ำมีการย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก จากการศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม พบว่าในปัจจุบันมีวิธีในการกำจัดสีย้อมผ้าอยู่หลากหลายวิธี เช่น กระบวนการตกตะกอนทางเคมี (Chemical Coagulation-Flocculation) ในกระบวนการการตกตะกอนทางเคมีจะเกิดตะกอนจากสารเคมีในปริมาณมาก และยากต่อการกำจัด ในส่วนการกำจัดสีด้วยระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน(Aerobic Treatment Process) จะใช้เวลานานในการกำจัดสี และต้องใช้แหล่งพลังงานมาก และมีค่าใช้จ่ายที่สูง [1] สำหรับกระบวนการดูดซับด้วยวัสดุดูดซับ (Absorption) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ไม่ใช้สารเคมีในการบำบัด ค่าใช้จ่ายน้อย และใช้เวลาในการบำบัดไม่นาน จากงานวิจัยของ Sae-ui และคณะ [2] ได้ศึกษาการนำซีโอไลต์สังเคราะห์ Na-A ที่สังเคราะห์จากตะกอนน้ำประปา มาใช้ในการดูดซับสีเมทิลีนบลู พบว่า ซีโอไลต์สังเคราะห์ Na-A มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีได้มากกว่า 90% และมีความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 40.67 mg/g นอกจากนี้ Kahapana และ Phowan [3] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้วัสดุดูดซับที่เตรียมจากผักตบชวา จากการศึกษาพบว่าเวลาในการดูดซับที่เหมาะสมเท่ากับ 8 ชั่วโมง ปริมาณวัสดุดูดซับเท่ากับ 20 g/L และมีค่าการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 21.88 mg/g งานวิจัยของ Sangarunlert [4] ศึกษาการดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง พบว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเมทิลเรด 64.47% โดยสภาวะที่เหมาะสม คือ เวลาในการดูดซับ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.09.002

60 นาที ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.5 g ความเข้มข้นของสารละลายสีเมทิลเรดเริ่มต้นสูงสุด 300 mg/L Misran และ คณะ [5] ใช้ถ่านกัมมันต์ผลิตจากก้านกล้วยในการกำจัดเมทิลลีนบลู โดยถ่านกัมมันต์จากก้านกล้วยมีพื้นที่ผิว 837.45 m^2/g มีประสิทธิภาพในการกำจัด 99.76% ที่ปริมาณความเข้มข้น 200 g/mL มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด 101.01 mg/g Kliangpradith และคณะ [6] ได้นำเถ้าลอยไม้ยางพารามาใช้บำบัดน้ำทิ้งจากการผลิตผ้าบาติก พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับซีโอดีและสี มีค่า 96 และ 98% ตามลำดับ ที่สภาวะเหมาะสม คือ pH 7 ระยะเวลาสัมผัส 16 ชั่วโมง ที่ปริมาณเถ้าลอย 100 g/L และการดูดซับสอดคล้องกับสมการไอโซเทอมของฟรุนดิช จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าการบำบัดสีย้อมสามารถนำวัสดุหลากหลายชนิดมาใช้บำบัด และวัสดุดูดซับในท้องถิ่นเป็นวัสดุที่น่าสนใจ มีราคาต้นทุนต่ำ และหาได้ง่ายในท้องถิ่น จึงเป็นทางเลือกหนึ่งของวัสดุต้นทุนต่ำเพื่อใช้ในการบำบัดสีย้อม

จากที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้ จึงได้เลือกใช้วัสดุทางธรรมชาติ 3 ชนิดคือ ถ่านกัมมันต์ และวัสดุในท้องถิ่น ได้แก่ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ ซึ่งเป็นวัสดุที่ทำจากธรรมชาติไม่มีสารเคมีปนเปื้อน และถ่านยังมีคุณสมบัติที่ช่วยในเรื่องการดูดซับมวลสารขนาดเล็กกลิ่น และสี ได้เป็นอย่างดี โดยศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ปริมาณวัสดุดูดซับ pH ระยะเวลา ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลู และใช้สมการไอโซเทอมของแลงเมียร์และฟรุนดิช สำหรับการศึกษาในครั้งนี้

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

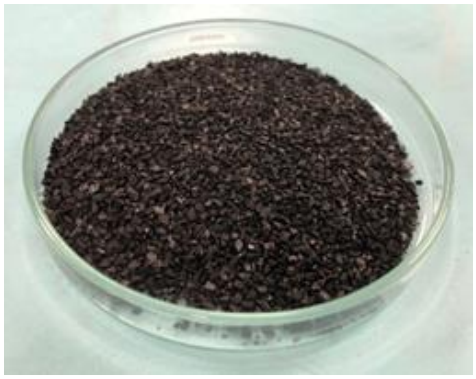
2.1 การเตรียมวัสดุดูดซับ

นำวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด (รูปที่ 1) ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (Granular Activated Carbon) ID700 ยี่ห้อ Karbon เป็นถ่านหินนำเข้าจาก USA ใช้เป็นสารกรองคาร์บอน และวัสดุดูดซับในท้องถิ่น ได้แก่ ถ่านหุงต้ม ผลิตจากการเผาไม้รวมที่มีขายในท้องตลาด และถ่านไม้ไผ่ ยี่ห้อ บันตัน มาทำการบดและร่อนคัดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 16 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 30 นำวัสดุดูดซับมาล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง [2] หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางอสัณฐานวิทยาด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) และหาพื้นที่ผิวจำเพาะผิวด้วยเทคนิค Brunauer–Emmett–Teller: BET จากนั้นนำถ่านทั้ง 3 ชนิด ใส่ในบีกเกอร์ และนำมาเก็บไว้ในหม้อดูดความชื้น เพื่อรอการดำเนินการทดลองต่อไป

2.2 การเตรียมสารละลายเมทิลีนบลู

ในการทดลองจะเตรียมสารละลายเมทิลีนบลู ($C_{16}H_{18}N_3ClS.2H_2O$) ของบริษัท UNILAB (C.I. 52015)) ซึ่งเป็นสีย้อม Cationic Dyes ที่มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2 ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกสีเขียวเข้ม เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายสีฟ้าเข้ม ในการทดลองจะเตรียมสารละลายเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 1000 mg/L โดยชั่งเมทิลีนบลู 2.225 g ผสมในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเท่ากับ 2 L จากนั้นทำการเจือจางสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2 4 6 8 และ 10 mg/l สำหรับทำกราฟมาตรฐานของสีย้อมเมทิลีนบลู และทำการเจือจางสีย้อมเมทิลีนบลูที่

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.09.002

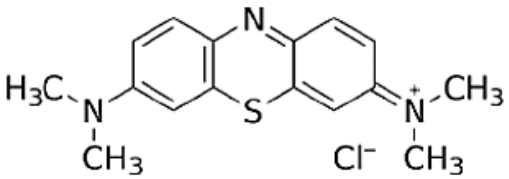


(a)

(b)

(c)

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



รูปที่ 2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสีเมทิลีนบลู

ความเข้มข้น 65 - 140 mg/l จากนั้นนำสารละลายดังกล่าวมาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer จะได้ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสีเมทิลีนบลูสูงสุดที่ความยาวคลื่น (λ) เท่ากับ 665 นาโนเมตร [2] จากนั้นทำการศึกษาปัจจัยความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านทั้ง 3 ชนิด

2.3 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู โดยแปรค่าปริมาณวัสดุดูดซับเท่ากับ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 g ระยะเวลาในการดูดซับเท่ากับ 15 30 60 90 และ120 min ความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลูเท่ากับ 65 90 115 และ 140 mg/L และค่า pH เท่ากับ 3 5 7 และ 9 โดยเริ่มต้นจากการนำวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด ที่เตรียมไว้ไปทำการผสมกับสีย้อมเมทิลีนบลูใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นระยะเวลา 90 min ที่อุณหภูมิ 25 °C หลังจากผ่านขั้นตอนของการดูดซับแล้วจึงนำสารละลายเมทิลีนบลูมาทำการแยกวัสดุดูดซับออกด้วยการกรองผ่านตะแกรงร่อนขนาด 300 µm เพื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง และวัดปริมาณความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ หลังจากทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับอื่นๆ แล้วจึงนำผลการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.09.002

ทดลองที่ได้มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพและความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู ตามสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

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

C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลู *(mg/L)*

C_1 คือ ความเข้มข้นที่เหลืออยู่หลังการดูดซับของสีย้อมเมทิลีนบลู *(mg/L)*

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

q_e คือ ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู (mg/g)

V คือ ปริมาณของสีย้อมเมทิลีนบลู (L)

W คือ ปริมาณของวัสดุดูดซับ (g)

เมื่อได้ผลการทดลองจากการศึกษาปัจจัยความเข้มข้นแล้ว นำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ของสมการไอโซเทอมของ Langmuir และ Freundlich ดังสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับได้สูงสุดของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด

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

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

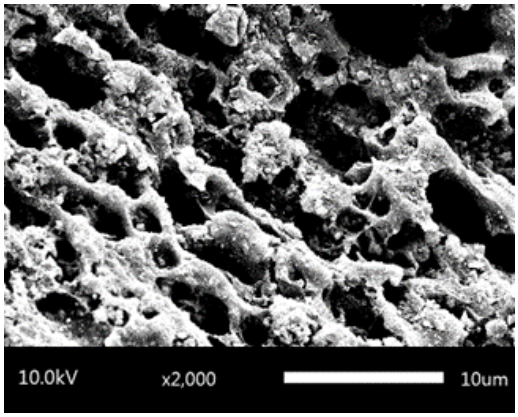
1/n คือ ค่าที่บ่งบอกความสามารถในการดูดซับและเขียนกราฟความสัมพันธ์แบบสมการเส้นตรงระหว่างค่า $1/q_e$ และ $1/C$ จะได้ค่า q_m เป็นค่าที่จุดตัดแกนตั้ง (แกน Y) และค่า K_L เป็นค่าความชันของกราฟเส้นตรงจากสมการเส้นตรงของไอโซเทอม Langmuir

3. ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

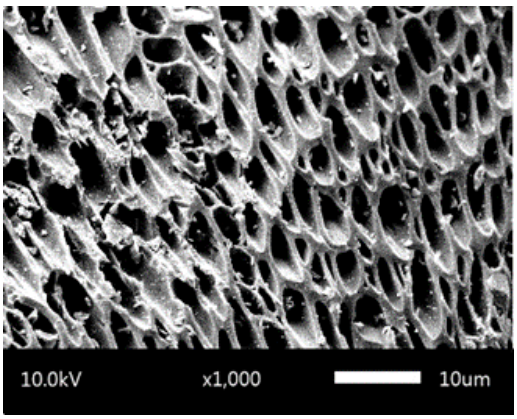
3.1 การศึกษาลักษณะอสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

รูปที่ 2 3 และ 4 แสดงการศึกษาลักษณะโครงสร้างอสัณฐานวิทยา และรูปร่างลักษณะของถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จากรูปลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ มีรูปร่างของรูพรุนที่เป็นรูปทรงอิสระ ในขณะที่ถ่านหุงต้มมีรูปทรงของรูพรุนที่มีสัดส่วนสมมาตร และรูปทรงรูพรุนของถ่านไม้ไผ่มีลักษณะคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า และตื้นกว่าถ่านชนิดอื่นๆ ซึ่งกำลังขยายที่สามารถเห็นพื้นที่ผิวได้ชัดเจนของถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ เท่ากับ 2000เท่า 1000เท่า และ 500เท่า ตามลำดับ เมื่อนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค BET พบว่าถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ จะมีค่าพื้นผิวเท่ากับ 650.63 3.80 และ 3.32 m^2/g ตามลำดับจะเห็นว่า ถ่านกัมมันต์มีลักษณะรูพรุนที่มีขนาดเล็กจึงทำให้มีปริมาณรูพรุนและพื้นที่ผิวมากที่สุดเมื่อเทียบกับมวลน้ำหนักของถ่าน รองลงมาคือ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่

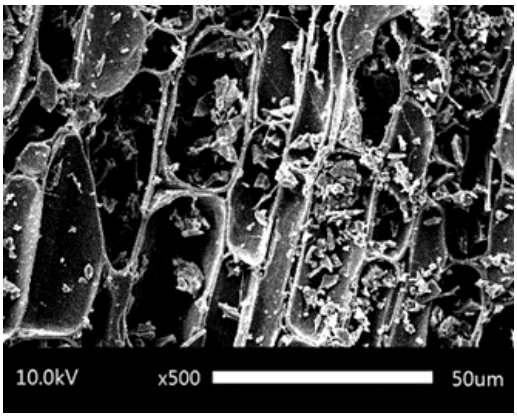
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.09.002



รูปที่ 2 ลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์



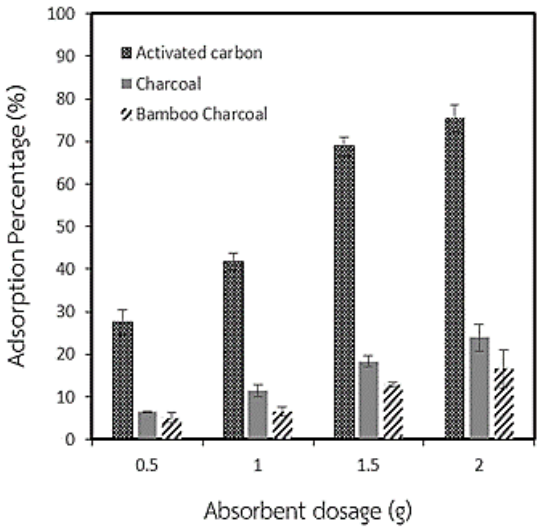
รูปที่ 3 ลักษณะพื้นผิวของถ่านหุงต้ม



รูปที่ 4 ลักษณะพื้นผิวของถ่านไม้ไผ่

3.2 ผลของปริมาณวัสดุดูดซับ

ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูเมื่อแปรผันปริมาณถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ เท่ากับ 0.50 1.00 1.50 และ 2.00 g โดยมีค่า pH ที่สภาวะปกติของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูเท่ากับ 5.29 จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัสดุดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณวัสดุดูดซับที่เพิ่มขึ้น แปรผันตรงกับปริมาณพื้นที่ผิวในการดูดซับสี ดังนั้นการเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณ 2 g พบว่า ถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูได้มากที่สุด เท่ากับ 75.48 23.90 และ 16.57% ตามลำดับ



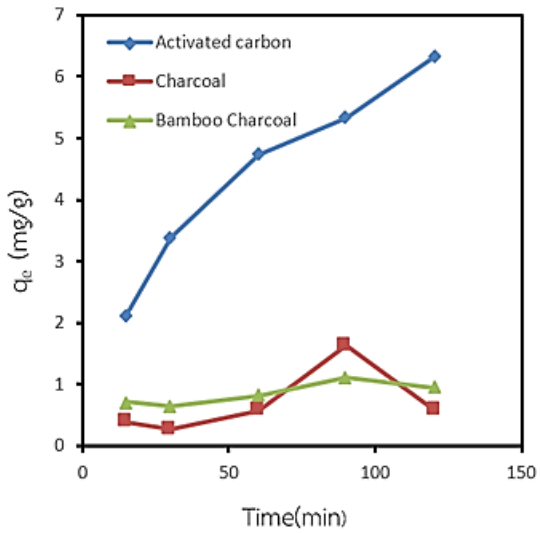
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัสดุดูดซับกับประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.09.002

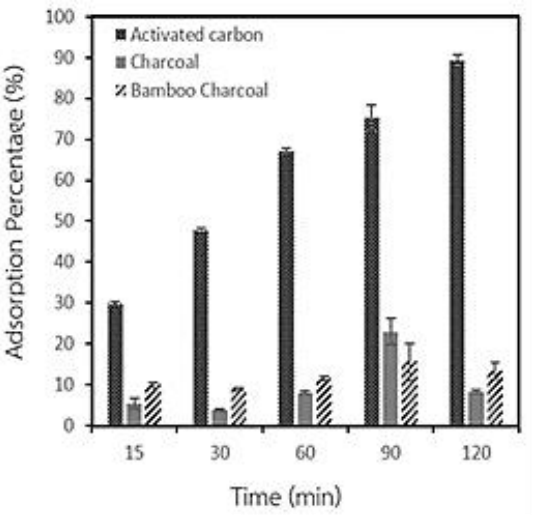
3.3 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ

รูปที่ 6 พบว่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ โดยความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มสูงขึ้นในระยะเวลาช่วงแรกอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลมาจากผลต่างของความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูกับพื้นที่ผิวดูดซับของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด โดยช่วงระยะเวลาแรกของการดูดซับในสารละลายเมทิลีนบลูจะมีสภาพความเข้มข้นที่สูง ส่งผลทำให้เกิดแรงขับดันที่มาก จะเห็นว่าหลังจากระยะเวลา 90 min ผ่านไปจนกระทั่งความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูต่ำลงส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับของถ่านกรองน้ำเข้าสู่สภาวะคงที่ แต่ในขณะเดียวกันถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่เมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับพบว่าในช่วงที่ 60 ถึง 90 นาที จะดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด แต่หลังจาก 90 min ผ่านไประยะเวลาในการดูดซับไม่มีผลต่อความสามารถที่ในการดูดซับที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ผิวของถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ ที่น้อยกว่าทำให้เมื่อเกิดแรงขับดันในช่วงแรกถ่านหุงต้มและไม้ไผ่ใช้พื้นที่ผิวในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูจนหมด จึงมีพื้นที่ผิวดูดซับไม่เพียงพอสำหรับการดูดซับในช่วงระยะเวลาต่อๆไป

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการดูดซับและความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู แสดงดังรูปที่ 7 จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาช่วงแรกตั้งแต่ 30 ถึง 90 min ถ่านกัมมันต์ (พื้นที่ผิว 650.63 m^2/g) มีความสามารถในการดูดซับที่เพิ่มสูงขึ้นได้สูงสุดถึง 5.32 mg/g และเมื่อระยะเวลาผ่านไปหลังจาก 90 min ความสามารถในการดูดซับยังคงเกิดขึ้นแต่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนเข้าสู่สภาวะสมดุล ทั้งนี้



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการดูดซับกับความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู



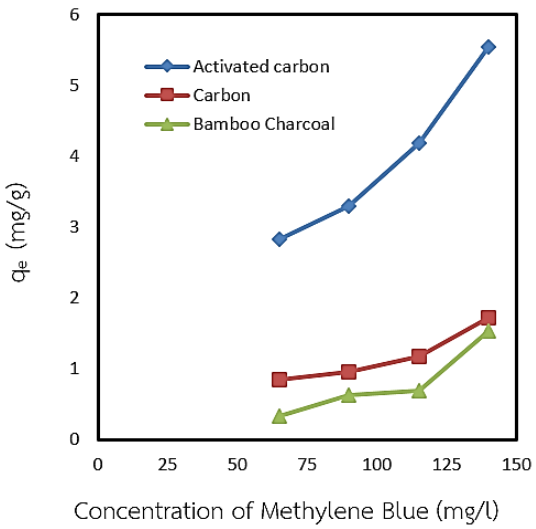
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.09.002

เนื่องจากผลต่างของความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูกับพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับทำให้เกิดแรงขับดัน (Driving Force) เกิดขึ้น โดยช่วงแรกของการดูดซับความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูที่มากทำให้มวลของสีย้อมถูกแรงขับดันที่มากพามวลของสีย้อมไปยึดเกาะบนพื้นผิวของตัวดูดซับได้มาก จึงส่งผลให้ระยะเวลาในการดูดซับช่วงเริ่มต้นสีย้อมถูกดูดซับได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรกก่อน 90 min อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ พบว่าระยะเวลาในการดูดซับไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่ผิวดูดซับของถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ (พื้นที่ผิว 3.80 และ3.32 m^2/g ตามลำดับ) มีพื้นที่น้อยและจำกัด ทำให้ในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นเมทิลีนบลูถูกดูดซับจนเต็มพื้นที่ผิว ดังนั้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่จึงไม่สามารถดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูเพิ่มได้อีก โดยประสิทธิภาพในการดูดซับที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ที่ระยะเวลา 90 min ประสิทธิภาพในการดูดซับยังคงเกิดขึ้นแต่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนเข้าสู่สภาวะสมดุล เท่ากับ 75.20 23.04 และ15.63% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ ส่งผลให้เพิ่มโอกาสในการสัมผัสกันระหว่างโมเลกุลของสีเมทิลีนบลูและผิวของตัวดูดซับจึงทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ [7]

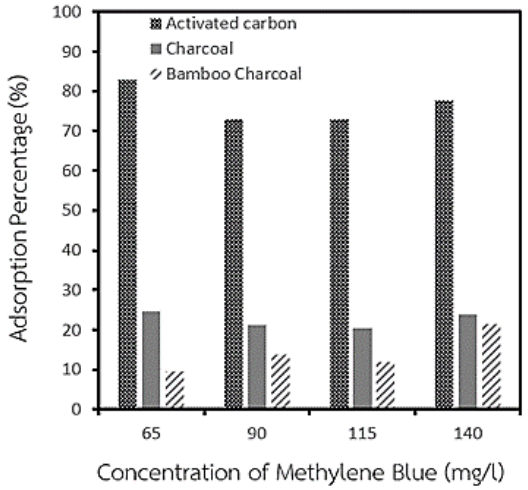
3.3 ผลความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลู

จากผลการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู เมื่อทำการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลูเท่ากับ 65-140 mg/L (รูปที่ 8) พบว่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูส่งผลทำให้เพิ่มแรงขับดันในการดูดซับที่ผิววัสดุดูดซับ ซึ่งเกิดจากผลต่างของความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นระหว่างสีย้อมเมทิลีนบลูกับวัสดุดูดซับ โดยความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 140 mg/L ถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ มีความสามารถในการดูดซับสูงถึง 5.55 1.71 และ 1.54 mg/g ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ (รูปที่ 9) พบว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลูในช่วง 65-140 mg/L ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 72.84-82.93% ในขณะที่ถ่านหุงต้มมีค่าอยู่ในช่วง 20.38-24.60% และถ่านไม้ไผ่มีค่าอยู่ในช่วง 9.44-21.50%

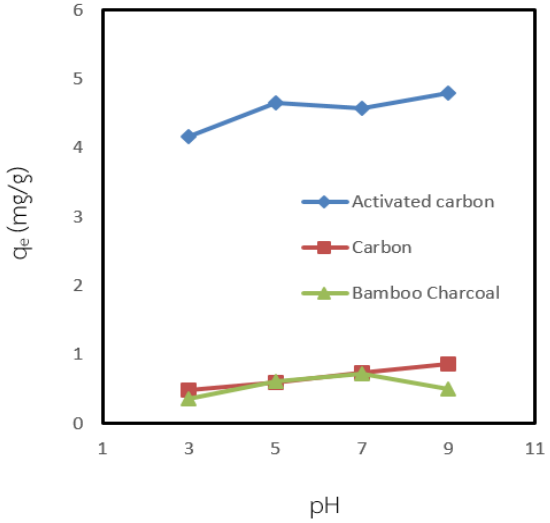


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.09.002



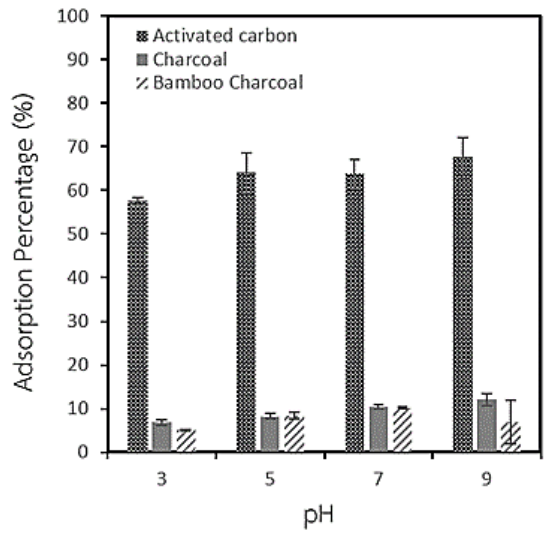
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลีนบลู



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการดูดซับและความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู

3.4 ผลของค่า pH ของสีย้อมเมทิลีนบลู

จากการศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ pH ระหว่าง 3-9 (รูปที่ 10) พบว่า ความสามารถในการดูดซับมีค่าใกล้เคียงกันที่ทุก pH และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับ (รูปที่ 11) จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยอยู่ในช่วง 57.58 – 67.49% ส่วนถ่านหุงต้ม มีค่าอยู่ในช่วง 6.78 – 12.11 % และถ่านไม้ไผ่ มีค่าอยู่ในช่วง 5.03 – 10.18 % ซึ่งเป็นช่วงค่า pH ที่เห็นความแตกต่างของความสามารถในการดูดซับน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากที่สภาวะของสารละลายที่มีค่า pH ต่ำ จะเกิดประจุบวกเกาะที่ผิวของวัสดุดูดซับ [8] โดยสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูมีประจุเป็นบวก ทำให้ประจุบวกเกิดการผลักกัน จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับและประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูใกล้เคียงกันในทุกช่วงค่า pH ที่ทำการศึกษา



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.09.002

3.5 ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

ตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบไอโซเทอมของสีย้อมเมทิลีนบลูจากสมการ Langmuir และสมการ Freundlich โดยใช้วัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด พบว่าไอโซเทอมของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด ที่มีความเข้มข้นของสีเมทีลีนบลูเริ่มต้นอยู่ในช่วง 65-140 mg/L เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น (R^2) การดูดซับสีเมทีลีนบลูสอดคล้องกับสมการของ Langmuir มากกว่า Freundlich ซึ่งอธิบายได้ว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงที่สุด เนื่องจากถ่านกัมมันต์ มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากถึง 650.63 m^2/g ซึ่งมากกว่าถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ ที่มีพื้นที่ผิวดูดซับเพียง 3.80 และ 3.32 m^2/g ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับสูงสุดต่อพื้นที่ผิวในการดูดซับของถ่านแต่ละชนิด พบว่า ถ่านหุงต้มมีค่าสูงที่สุด รองลงมาถ่านไม้ไผ่ และ ถ่านกัมมันต์ ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 1.36 0.24 และ 0.03 mg/m^2 นั่นแสดงให้เห็นว่า วัสดุดูดซับในท้องถิ่นทั้งสองชนิด คือ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ มีคุณสมบัติที่ดีและสามารถนำมาใช้ทดแทนถ่านกัมมันต์ในการบำบัดสีย้อมเมทิลลีนบลูได้ และยังเป็นวัสดุที่ง่ายในท้องถิ่น ถ้าพิจารณาค่า 1/n ของสมการ Freundlich พบว่าถ่านกัมมันต์และถ่านหุงต้ม มีค่า 1/n เท่ากับ 0.87 และ 0.89 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่น้อยกว่า 1 อธิบายได้ว่าวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นวัสดุดูดซับที่มีพื้นที่ผิวดูดซับที่จำกัด ซึ่งมีความสอดคล้องกับกลไกการดูดซับแบบพื้นผิวชั้นเดียวของสมการ Langmuir ไม่มีการซ้อนทับกันพื้นที่ว่างบนผิวของวัสดุดูดซับจับกับโมเลกุลสารได้เพียง 1 โมเลกุล [2] อย่างไรก็ตามจากตารางเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู นอกจากปริมาณวัสดุดูดซับ ความเข้มข้นสารตั้งต้น ระยะเวลา และ pH แล้ว ปัจจัยสำคัญในงานวิจัยนี้คือ ชนิดวัสดุดูดซับและพื้นที่ผิวเป็นปัจจัยที่สำคัญและส่งผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ มีราคาต่อกิโลกรัม เท่ากับ 40 20 และ 300 บาท ตามลำดับ ดังนั้น การเลือกวัสดุดูดซับ

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยวัสดุดูดซับที่ต่างชนิดกัน

Adsorbent Dosage	Surface area (m^2/g)	Langmuir			Freundlich			Reference
		Q_m (mg/g)	K_L	R^2	1/n	K_f	R^2	
Activated carbon	650.63	18.73	0.0026	0.9329	0.8666	0.0717	0.9420	This study
Charcoal	3.80	5.18	0.0028	0.8792	0.8851	0.0193	0.8851	This study
Bamboo charcoal	3.32	0.81	0.0044	0.9511	3.6315	0.0021	0.9015	This study
Activated carbon from banana stem	837.45	101.01	123.75	0.9980	0.16	111.20	0.9977	[5]
Bamboo shoot	-	29.24	0.046	0.9225	0.72	1.55	0.988	[9]

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.09.002

ที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาปัจจัยทั้งเชิงประสิทธิภาพความสามารถในการดูดซับสูงสุดและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า ถ่านหุงต้มเป็นวัสดุดูดซับในท้องถิ่นที่หาง่าย ราคาถูก และมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสีได้

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับได้แก่ปริมาณวัสดุดูดซับ ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลู และ ค่า pH พบว่าปริมาณวัสดุดูดซับ 2 g ถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับ 75.48 23.90 และ 16.57% ตามลำดับ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับเท่ากับ 90 min ประสิทธิภาพในการดูดซับที่ pH ในช่วงระหว่าง 3-9 ของวัสดุดูดซับแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน จากการศึกษา ไอโซเทอมการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้มและถ่านไม้ไผ่ สอดคล้องกับไอโซเทอม Langmuir มากกว่า ถ่านหุงต้มเป็นวัสดุดูดซับในท้องถิ่นที่หาง่าย ราคาถูกเหมาะในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสี

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] T.W. Seow and C.K. Lim, Removal of dye by adsorption: A review, International Journal of Applied Engineering Research, 2016, 11(4), 2675-2679.

[2] P. Sae-ui, T. Kongkaew, T. Wongsuk, T. Watcharamai and K. Sombatsompop, Adsorption of methylene blue dye by zeolite Na-A and standard Zeolite 4A, The Journal of Applied Science, 2019, 18(2), 51-63. (in Thai)

[3] C. Kahapana and N. Phowan, A study on adsorption efficiency of methylene blue dye using adsorbent material prepared from water Hyacinth, SWU Engineering Journal, 2020, 15(2), 58-70.

[4] W. Sangarunlert, Adsorption of methyl red dye by activated carbon from egg shell and ark shell by chemical activation method, Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal, 2015, 7(7) 97-110.

[5] E. Misran, O. Bani, E.M. Situmeang and A.S. Purba, Banana stem based activated carbon as a low-cost adsorbent for methylene blue removal: Isotherm, kinetics, and reusability, Alexandria Engineering Journal, 2021. (Article in press)

[6] K. Kliangpradith, N. Thongmak and P. Sridang, Adsorption of organic substance and dyestuff from batik textiles wastewater by rubber wood fly ash, The Journal of Industrial Technology, 2021, 17(1), 1-14. (in Thai)