

<http://journal.rmutp.ac.th/>

การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอที่เตรียม จากการเผาแบบเตาลาน

พัชรนันท์ จันทรพลอย* กฤติยาภรณ์ หลวงดี และ นภารัตน์ จิวาลักษณ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
202 ถนนช้างเผือก ตำบลช้างเผือก อำเภอเมืองเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50300

รับบทความ 12 ธันวาคม 2562 แก้ไขบทความ 18 มีนาคม 2563 ตอรับบทความ 30 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอที่เตรียมได้จากการเผาแบบเตาลาน ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง ได้แก่ ระยะเวลาในการดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลู จากการศึกษาผลของระยะเวลาในการดูดซับ พบว่า การดูดซับเกิดขึ้นเร็วในช่วงแรก และเริ่มคงที่ที่เวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมง และเมื่อศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลู พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นมีผลทำให้ตัวดูดซับเกิดการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นมากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า การดูดซับสีย้อมของตัวดูดซับเพิ่มขึ้นน้อยมาก การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ พบว่า ข้อมูลจากการทดลองมีความสอดคล้องกับแบบจำลองสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม และไอโซเทอมการดูดซับเป็นไปตามแบบจำลองแลงเมียร์ เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว โดยมีความสามารถในการดูดซับสูงสุด 166.67 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านเปลือกส้มโอ นอกจากนี้ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอเทียบกับวัสดุดูดซับชนิดอื่นๆ ที่สภาวะเดียวกัน พบว่า ถ่านเปลือกส้มโอมีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าเปลือกส้มโอแห้งซึ่งไม่ผ่านการตัดแปร อีกทั้งยังมีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าถ่านถ่านต้นลำไย ถ่านอัดแท่ง กะลามะพร้าว ถ่านต้นลิ้นจี่ และถ่านต้นมะขาม ตามลำดับ

คำสำคัญ : ถ่านเปลือกส้มโอ; การเผาแบบเตาลาน; การดูดซับ; สีย้อมเมทิลบลู

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 1469 3892, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: patcharanan@g.cmru.ac.th

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Methylene Blue Adsorption Using Pomelo Peels Charcoal Prepared by Traditional Charcoal Burning

Patcharanan Junploy* Krittiyaporn Loungdee and Naparat Jiwalak

Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

202 Chang pheuk Road, Chang Phueak Sub-district, Mueang Chiang Mai District, Chiang Mai, 50300, Thailand

Received 12 December 2019; Revised 18 March 2020; Accepted 30 April 2020

Abstract

The pomelo peels charcoal was successfully prepared by traditional charcoal burning and its adsorption of methylene blue was investigated. The influences of methylene blue adsorption including contact time and methylene blue initial concentration were studied at room temperature. The adsorption rate initially increased rapidly until 24 h and 600 mg/L of methylene blue initial concentration. The further increase in contact time and methylene blue initial concentration did not significantly increase the adsorption due to it reached equilibrium. Kinetic of adsorption were investigated, that the pseudo-second order model best described adsorption kinetic data. The adsorption isotherms were evaluated and the data correlated with Langmuir adsorption model with the maximum adsorption capacity was found to be 166.67 mg/g. The adsorption of pomelo peel charcoal was studied comparing to other adsorbents at the same experimental conditions. The results showed higher adsorption of pomelo peel charcoal than dried pomelo peel, longan wood charcoal, coconut shell charcoal, litchi wood charcoal and tamarind wood charcoal, respectively.

Keywords : Pomelo Peels Charcoal; Traditional Charcoal Burning; Adsorption; Methylene Blue

* Corresponding Author. Tel.: +668 1469 3892, E-mail Address: patcharanan@g.cmru.ac.th

1. บทนำ

ปัญหามลพิษทางน้ำเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากรส่งผลให้มีการขยายตัวด้านอุตสาหกรรม มีการเพิ่มปริมาณการผลิตสินค้า และในอุตสาหกรรม เช่น การผลิตสิ่งทอ พอกหนัง กระดาษ อาหาร และการพิมพ์ เป็นต้น อุตสาหกรรมเหล่านี้ จำเป็นต้องใช้น้ำในกระบวนการผลิตที่มักมีเสียหลายชนิดตกค้างอยู่ในน้ำที่ปริมาณมากและย่อยสลายได้ยาก เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนและเสถียร [1], [2] การปนเปื้อนของเสียในแหล่งน้ำส่งผลให้น้ำมีสารเคมีสะสม มีความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD) และค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) สูงอีกด้วย บ่งบอกถึงความต้องการในการใช้ออกซิเจนของสารเคมีและจุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำมีค่าสูง แหล่งน้ำจึงขาดออกซิเจนและเน่าเสีย นอกจากนี้ ยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน้ำ เนื่องจากตัวเสียสามารถดูดกลืนแสงได้ ทำให้พีชน้ำขาดแสงสว่างในการสังเคราะห์แสง ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหาร และทัศนียภาพแย่ลง อีกทั้งยังทำให้เกิดการระคายเคือง เกิดการกลายพันธุ์ของสัตว์ในแหล่งน้ำได้ [3], [4]

การบำบัดเสียในปัจจุบันมีหลายเทคนิค [5] ได้แก่ การสร้างตะกอน (Coagulation) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ต่ำแต่มีการใช้สารเคมีปริมาณมาก อีกทั้งยังต้องมีค่าใช้จ่ายและขั้นตอนในการบำบัดตะกอนที่เกิดขึ้นด้วย [6] การแยกด้วยไฟฟ้า (Electrolysis) มีประสิทธิภาพดีแต่ต้องมีการบำรุงรักษาเครื่องมืออย่างต่อเนื่องและอาจต้องมีการกำจัดไอออนของโลหะที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้า ที่ตกค้างในน้ำทิ้งด้วย [7] กระบวนการโอโซนเนชัน (Ozonation) มีประสิทธิภาพสูงและใช้เวลาในการกำจัดเสีย แต่เป็นเทคนิคที่มีค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งและการผลิตแก๊สโอโซน [8] การใช้จุลินทรีย์ในการบำบัด (Biological Treatment) เป็น

วิธีที่ใช้ต้นทุนต่ำไม่ซับซ้อน แต่ก็ไม่สามารถบำบัดเสียได้ทุกชนิด อีกทั้งเสียบางชนิดมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ [6] และการดูดซับ (Adsorption) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงไม่ทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในแหล่งน้ำหลังจากการบำบัด วัสดุดูดซับสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายในการนำไปประยุกต์ใช้ และต้นทุนต่ำ [9], [10] ดังนั้นการเตรียมวัสดุดูดซับจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพดีในการดูดซับถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เพราะหาได้ง่าย ราคาถูก และช่วยลดปริมาณขยะในชุมชน อีกด้วย

ส้มโอถือเป็นไม้ผลเศรษฐกิจของไทย จากข้อมูลผลผลิตส้มโอที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวได้ระหว่างปี พุทธศักราช 2557 ถึง 2561 มีปริมาณอยู่ในช่วง 109,351 ถึง 147,672 ตันต่อปี [11] ส้มโอเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมของผู้บริโภค เนื่องจากเนื้อส้มโอมีรสชาติหวานอร่อยจึงนิยมนำมาบริโภค ส่วนของเปลือกส้มโอแบ่งออกเป็นสองชั้น โดยเปลือกชั้นนอก (Flavedo) มีสีเขียว มีต่อมน้ำมันหอมระเหยกระจายอยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนเปลือกชั้นใน (Albedo) มีเส้นใยคาร์โบไฮเดรตหนา ประกอบไปด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เพกทิน (Pectin) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) [12] ซึ่งเปลือกส้มโอปริมาณมากมักถูกทิ้งให้เป็นขยะมูลฝอย ส่งกลิ่นเหม็น ผู้วิจัยจึงได้สนใจนำเปลือกส้มโอมาดัดแปรเป็นถ่านด้วยวิธีการเผาแบบเตาถ่าน โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับ ได้แก่ ระยะเวลาการดูดซับและความเข้มข้นเริ่มต้นของเสีย รวมถึงจลนพลศาสตร์และไอโซเทอมการดูดซับ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาปริมาณการดูดซับของถ่านเปลือกส้มโอเทียบกับเปลือกส้มโอแห้งและถ่านจากวัสดุบางชนิด

2. ระเบียบวิธีวิจัย

เปลือกส้มโอที่ใช้ในงานวิจัยมาจากส้มโอพันธุ์ทองดี ได้คัดเลือกผลส้มโอที่แก่เต็มที่เหมาะสมในการบริโภคและปลูกในพื้นที่จังหวัดเชียงราย ในการศึกษา

การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอ ใช้สีย้อมเมทิลีนบลูเกรดวิเคราะห์ จากบริษัท BDH Chemicals ผลิตจากประเทศอังกฤษ ขั้นตอนการดูดซับใช้เครื่องเขย่า (Shaker) จากบริษัท Biotek รุ่น NB-1015 ผลิตจากสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูหลังการดูดซับ ด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-1601 ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น โดยคำนวณค่าปริมาณการดูดซับของตัวดูดซับที่สภาวะต่างๆ จากกราฟมาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นต่างๆ

2.1 การเตรียมถ่านจากเปลือกส้มโอจากการเผาแบบเตาถ่าน

นำเปลือกส้มโอมาตัดให้ได้ขนาด 15x15 เซนติเมตร แล้วนำไปตากแดด 2-3 วัน จากนั้นเปลือกส้มโอแห้งวางลงในหลุมขนาด 40x40x30 เซนติเมตร ที่รองกันหลุมด้วยแกลบหนาประมาณ 15 เซนติเมตร จากนั้นกลบด้วยแกลบให้เต็มหลุม จุดไฟเผาเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะได้ถ่านเปลือกส้มโอ จากนั้นให้ล้างเอาขี้เถ้าออก แล้วตากแดดให้แห้ง และนำมาบดละเอียดด้วยโกร่งบดสาร และร่อนให้ได้ขนาดน้อยกว่า 45 ไมครอน

2.2 การศึกษาการดูดซับของถ่านเปลือกส้มโอ

สร้างกราฟมาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อนำไปหาปริมาณการดูดซับ ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ระยะเวลาการดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู

2.2.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู ($C_{16}H_{18}ClN_3S$)

วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร ด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูกับค่าการดูดกลืนแสง

2.2.2 การศึกษาระยะเวลาในการดูดซับ

ชั่งผงถ่านเปลือกส้มโอ 0.1 กรัม ใส่ลงในปิเปตอร์ ปิเปตสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4, 8, 12, 16, 20, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูหลังการปั่นกวนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูที่เหลือหลังจากการดูดซับโดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของผงถ่านเปลือกส้มโอที่เวลาต่างๆ

2.2.3 การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลู

ชั่งผงถ่านเปลือกส้มโอ 0.1 กรัม ใส่ลงในปิเปตอร์ ปิเปตสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู ปริมาตร 50 มิลลิตร ความเข้มข้น 100, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 900 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูหลังการปั่นกวนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิล สเปกโทรโฟโต

มิเตอร์ จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูที่เหลือหลังจากการดูดซับโดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอที่ความเข้มข้นต่างๆ

2.3 การศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอกับเปลือกส้มโอแห้งและถ่านจากวัสดุอื่นๆ

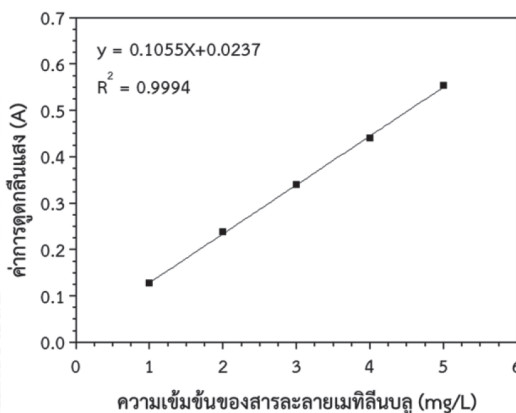
วัสดุดูดซับที่ทำการศึกษา มีทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ เปลือกส้มโอแห้ง ถ่านเปลือกส้มโอ ถ่านต้นลำไย ถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าว ถ่านต้นลิ้นจี่ และถ่านต้นมะขาม ทำการทดลองโดยนำวัสดุดูดซับมาบดละเอียดด้วยโกร่งบดสาร และร่อนให้ได้ขนาดน้อยกว่า 45 ไมครอน จากนั้นชั่งผงวัสดุดูดซับ 0.1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ปีเปตสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูหลังการปั่นกวนไปวัดค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูที่เหลือหลังจากการดูดซับโดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของวัสดุแต่ละชนิด

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

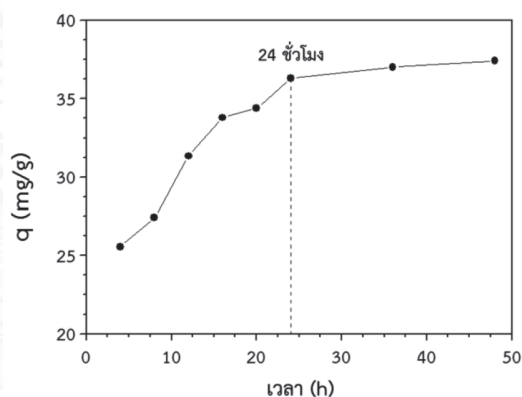
3.1 กราฟมาตรฐานสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู

จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูมาตรฐาน ความเข้มข้น 1 ถึง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร พบว่า ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความ

เข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลู แสดงดังรูปที่ 1 สอดคล้องกับสมการเส้นตรง $y = 0.1055x + 0.0237$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9994



รูปที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 2 ปริมาณการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอที่ระยะเวลาในการดูดซับต่างๆ ภายใต้สภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2 อิทธิพลของเวลาและจลนพลศาสตร์การดูดซับของถ่านเปลือกส้มโอ

การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ระยะเวลาการดูดซับ 4, 8, 12, 16, 20, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ผลการดูดซับแสดงในรูปที่ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลา

ในการดูดซับ ปริมาณการดูดซับจะเร็วในช่วงแรก เนื่องจากความเข้มข้นของสีย้อมในสารละลายและปริมาณสีย้อมบนตัวดูดซับมีค่าต่างกันมาก ทำให้การแพร่ของสีย้อมไปยังตำแหน่งดูดซับ (Adsorbed Sites) เกิดขึ้นได้เร็ว จากนั้นการดูดซับจะเริ่มช้าลง และเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ปริมาณการดูดซับจะเริ่มคงที่ เนื่องจากมีการดูดซับสูงสุดบนตำแหน่งดูดซับของถ่านเปลือกส้มโอ และการดูดซับเริ่มเข้าสู่สมดุล โดยมีอัตราการเกาะและหลุดออกของสีย้อมบนผิวของตัวดูดซับเท่ากัน โดยระยะเวลาไม่มีผลกระทบต่อระบบ [13], [14]

การศึกษากลไกการดูดซับของถ่านเปลือกส้มโอ ซึ่งเป็นการถ่ายโอนมวลสารระหว่างสีย้อมเมทิลีนบลู และถ่านเปลือกส้มโอ นิยมอธิบายด้วยแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first-order) และปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (Pseudo-second-order) สมการแสดงในสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ ดังนี้ [14]-[16]

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (1)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2)$$

โดยที่

q_e คือ ความสามารถในการดูดซับที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

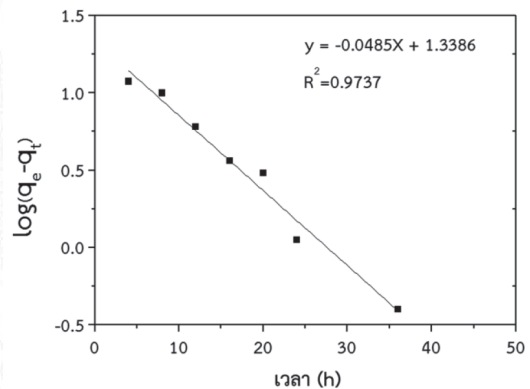
q_t คือ ความสามารถในการดูดซับ ณ เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

t คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง)

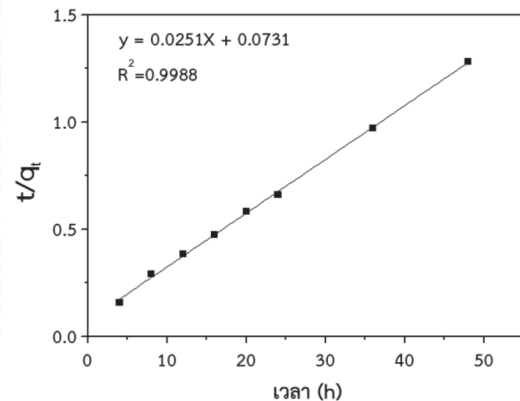
k_1 และ k_2 คือ ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (ต่อชั่วโมง) และค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่สอง (กรัมต่อมิลลิกรัม-ชั่วโมง) ตามลำดับ

เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(q_e - q_t)$ เวลา (t) และกราฟความสัมพันธ์

ระหว่างกับ t/q_t เวลา (t) ได้ดังรูปที่ 3(ก) และ 3(ข) ตามลำดับ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองของสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียมมีความเป็นเส้นตรงมากกว่าค่าดังกล่าวของแบบจำลองของสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม ดังนั้นอัตราเร็วปฏิกิริยาการดูดซับจึงสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม และสามารถนำมาคำนวณค่าต่างๆ แสดงในตารางที่ 1



(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ตามสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม



(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ตามสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม

รูปที่ 3 กราฟแสดงจลนพลศาสตร์การดูดซับ

ตารางที่ 1 ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาและอันดับการเกิดปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม		
q_e (mg/g)	k_1 (h ⁻¹)	R^2
21.8072	0.1117	0.9737
ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม		
q_e (mg/g)	k_2 (g/mg.h)	R^2
39.8248	0.0086	0.9988

3.3 อิทธิพลของความเข้มข้นและไอโซเทอมการดูดซับของถ่านเปลือกส้มโอ

ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมและตำแหน่งดูดซับ (Adsorbed Sites) ของวัสดุดูดซับ โดยผลการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ของถ่านเปลือกส้มโอ แสดงในรูปที่ 4(ก) พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูจะให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นเป็นการเพิ่มความแตกต่างระหว่างปริมาณของสีย้อมบนตัวดูดซับกับสารละลาย จะช่วยเพิ่มแรงขับเคลื่อนให้เกิดการถ่ายเทมวลสารและการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลสีย้อมและตำแหน่งดูดซับของวัสดุดูดซับ [13], [16] จากนั้นปริมาณการดูดซับเริ่มคงที่ที่ความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีปริมาณการดูดซับ 120.93 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านเปลือกส้มโอ นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวไปคำนวณหาร้อยละการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอ ในสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4(ข) พบว่าสารละลายสีย้อมที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีร้อยละการดูดซับสีย้อมมากที่สุด ถึงร้อยละ 66.25 ของปริมาณสีย้อมเริ่มต้น อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้เลือกใช้สารละลาย

เมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตรเพื่อศึกษาในหัวข้อถัดไป เนื่องจากที่ความเข้มข้นดังกล่าวให้ปริมาณการดูดซับสีย้อมต่อน้ำหนักของถ่านเปลือกส้มโอสูงสุด

เมื่อนำข้อมูลไปศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสีย้อมเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ที่สถานะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่ เพื่อหาไอโซเทอมที่เหมาะสมและใช้อธิบายลักษณะการดูดซับของถ่านเปลือกส้มโอ โดยแบบจำลองไอโซเทอมที่นิยมใช้ได้แก่แบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงเมียร์ ดังแสดงในสมการที่ (3) [14], [15], [17]

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bq_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (3)$$

โดยที่

- q_e คือ ความสามารถในการดูดซับที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)
- b คือ ค่าคงที่แลงเมียร์ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)
- C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)
- q_m คือ ปริมาณสูงสุดที่สามารถดูดซับแบบชั้นเดียว (มิลลิกรัมต่อกรัม)

และแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช ดังแสดงในสมการที่ (4) [14], [15], [17]

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

โดยที่

- q_e คือ ความสามารถในการดูดซับที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)
- K_F คือ ค่าคงที่ฟรุนดลิช (มิลลิกรัมต่อกรัม)
- $\frac{1}{n}$ คือ ปัจจัยที่แสดงความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
- C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

เมื่อจำลองการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์และฟรุนดลิช ได้กราฟดังรูปที่ 5(ก) และ 5(ข) ตามลำดับ และสามารถหาตัวแปรต่างๆ ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 และหากพิจารณาความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ (R^2) พบว่าค่า R^2 จากแบบจำลองแลงเมียร์ เท่ากับ 0.9724 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่า R^2 จากแบบจำลองฟรุนดลิช แสดงว่าการดูดซับของถ่านเปลือกส้มโอมีความสอดคล้องกับแบบจำลองของแลงเมียร์มากกว่าฟรุนดลิช การดูดซับตามแบบจำลองของแลงเมียร์เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวที่มีความสม่ำเสมอ มีโมเลกุลที่ถูกดูดซับและตำแหน่งที่เกิดการดูดซับที่แน่นอน การสร้างพันธะระหว่างสารที่ถูกดูดซับบนตำแหน่งบนวัสดุดูดซับใช้พลังงานเท่ากัน ไม่มีแรงกระทำต่อกันและไม่มีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่ถูกดูดซับข้างเคียง [18] จากการคำนวณมีการดูดซับสูงสุด (q_m) เท่ากับ 166.67 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อพิจารณาลักษณะของการดูดซับด้วยค่าคงที่การแยกตัว (Separation Factor, R_L) ถ้า $R_L > 1$ การดูดซับไม่ดี (Unfavorable), $R_L = 1$ การดูดซับเป็นเส้นตรง (Linear), $0 < R_L < 1$ การดูดซับดี (Favorable) และ $R_L = 0$ การดูดซับเกิดการผันกลับได้ (Irreversible) โดยค่า R_L สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (5) [14, 17-18]

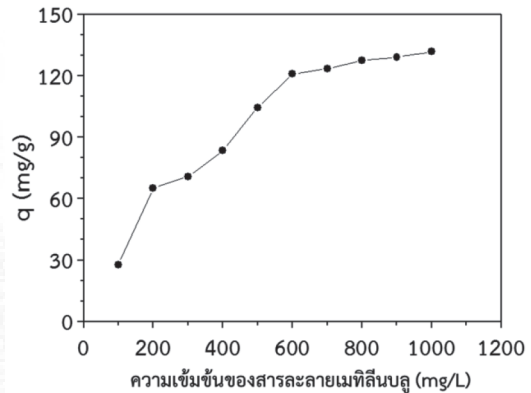
$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0} \quad (5)$$

โดยที่

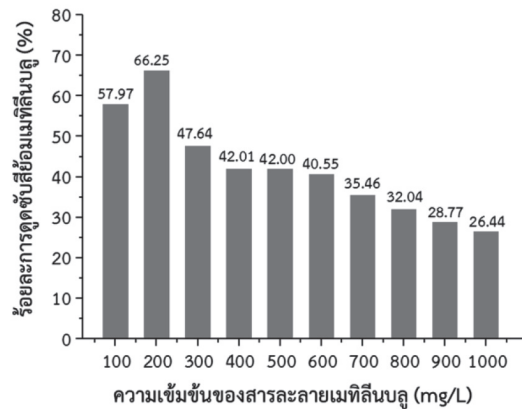
b คือ ค่าคงที่แลงเมียร์ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

จากการคำนวณได้ R_L อยู่ในช่วง 0.1471 ถึง 0.6329 ซึ่ง $0 < R_L < 1$ แสดงว่า ถ่านเปลือกส้มโอมีการดูดซับดี (Favorable) ในช่วงความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูที่ทำการศึกษา

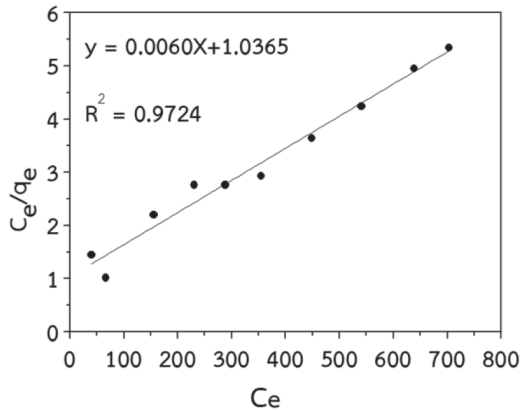


(ก) ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

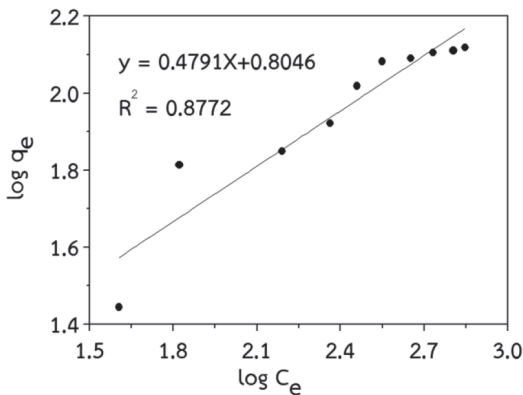


(ข) ร้อยละการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

รูปที่ 4 การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอในสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆกัน ภายใต้ระยะเวลาในการดูดซับ 24 ชั่วโมง



(ก) แลงเมียร์ไอโซเทอม



(ข) ฟรอนด์ลิชไอโซเทอม

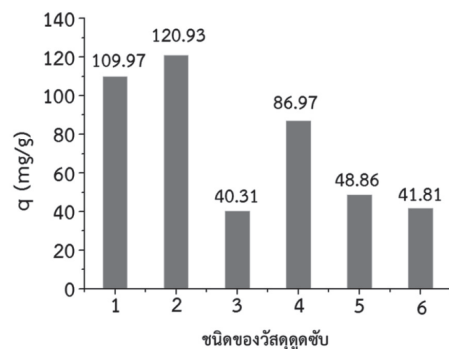
รูปที่ 5 ไอโซเทอมการดูดซับของถ่านเปลือกส้มโอ

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของการดูดซับแบบแลงเมียร์และฟรอนด์ลิช

แบบจำลองแลงเมียร์		
b (L/mg)	qm (mg/g)	R ²
0.0058	166.67	0.9724
แบบจำลองฟรอนด์ลิช		
K _F (mg/g)	1/n	R ²
6.368	0.479	0.8772

3.4 การเปรียบเทียบการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอกับตัวดูดซับชนิดอื่น

จากการศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของวัสดุหลายชนิด ได้แก่ เปลือกส้มโอแห้ง (แทนด้วยหมายเลข 1) ถ่านเปลือกส้มโอ (แทนด้วยหมายเลข 2) ถ่านต้นลำไย (แทนด้วยหมายเลข 3) ถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าว (แทนด้วยหมายเลข 4) ถ่านต้นลิ้นจี่ (แทนด้วยหมายเลข 5) และถ่านต้นมะขาม (แทนด้วยหมายเลข 6) พบว่ามีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 109.97, 120.93, 40.31, 86.97, 48.86 และ 41.86 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6 บ่งบอกได้ว่า การตัดแปรรเปลือกส้มโอจะได้ถ่านจากเปลือกส้มโอที่มีความสามารถในการดูดซับสูงชันเมื่อเทียบกับเปลือกส้มโอที่ไม่ผ่านการตัดแปรร และมีประสิทธิภาพสูงกว่าถ่านจากวัสดุอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามค่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอมีค่าน้อยกว่าเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยวิธีต่างๆ [19]-[21]



รูปที่ 6 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของวัสดุต่างๆ ได้แก่ เปลือกส้มโอแห้ง (แทนด้วยหมายเลข 1) ถ่านเปลือกส้มโอ (แทนด้วยหมายเลข 2) ถ่านต้นลำไย (แทนด้วยหมายเลข 3) ถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าว (แทนด้วยหมายเลข 4) ถ่านต้นลิ้นจี่ (แทนด้วยหมายเลข 5) และถ่านต้นมะขาม (แทนด้วยหมายเลข 6)

4. สรุป

ถ่านเปลือกส้มโอที่เตรียมได้จากวิธีการเผาแบบเตาลาน มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลินบลูต่อกรัมของถ่านสูงสุด คือ 120.93 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ระยะเวลาและความเข้มข้นของสารละลาย เท่ากับ 24 ชั่วโมง และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จลนพลศาสตร์ของการดูดซับสอดคล้องกับสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม และไอโซเทอมของการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลองแลงเมียร์ ลักษณะการดูดซับบนพื้นผิวถ่านเปลือกส้มโอเป็นแบบชั้นเดียว โดยมีค่าปริมาณสูงสุดที่สามารถดูดซับแบบชั้นเดียว เท่ากับ 166.67 มิลลิกรัมต่อกรัม จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับเทียบกับเปลือกส้มโอแห้งและถ่านจากวัสดุอื่น พบว่า ถ่านเปลือกส้มโอ มีความสามารถในการดูดซับสูงกว่า เปลือกส้มโอแห้ง ถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าว ถ่านต้นลิ้นจี่ ถ่านต้นมะขาม และถ่านต้นลำไย ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ สำหรับอุปกรณ์ สารเคมี และสถานที่วิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] X. Liu, Z. Ni, C. Xie, R. Wang and R. Guo, "Controlled synthesis and selective adsorption properties of Pr_2CuO_4 nanosheets: a discussion of mechanism," *Nanoscale Research Letters*, vol. 13, no. 268, pp. 1-11, 2018.
- [2] K. K. Upadhyay, A. C. Pandey and J. Manzoor, "Impact of dyes on the chemistry of water and its implications: a review," *Bio Bulletin*, vol. 3, no. 1, pp. 1-7, 2017.
- [3] W. Sarakarnkosol, "Pollution and the dangers of waste water from dyeing clothes," *Environment Journal*, vol. 21, no. 1, pp. 7-14, 2017.
- [4] Z. Wang, M. Xue, K. Huang and Z. Liu, "Textile Dyeing Wastewater Treatment," in *Advances in Treating Textile Effluent*, P. Hauser, Ed. China: InTech, 2011, pp. 91-116.
- [5] E. A. S. Almaamary, S. R. S. Abdullah, H. A. Hasan, R. A. Ab. Rahim and M. Idris, "Treatment of methylene blue in wastewater using *Scirpus grossus*," *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, vol. 21, no. 1, pp. 182-187, 2017.
- [6] J. Thuanthong, "Removal of reactive dye wastewater by chemical coagulation," M.S. thesis, Dept. Environ. Eng., Chulalongkorn Univ., Bangkok, Thailand, 2010.
- [7] P. Jitto, T. Chaikratang and W. Nakbanpote, "Silk textile wastewater treatment by electrocoagulation process," *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, vol. 7, no. 2, pp. 228-239, 2016.
- [8] T. Kritsanapuk and C. Jarusutthirak, "Decolorization of Synthetic Dyeing Wastewater by Catalytic Ozonation," in *Proceeding of The 54th Kasetsart University Annual Conference*, Thailand, 2016, pp. 1107-1114.
- [9] R. Srimoon, "Dyes treatment in wastewater using adsorption processes," *KKU Science*

- Journal*, vol. 44, no. 3, pp. 419-434, 2016.
- [10] M. Kaykhaii, M. Sasani and S. Marghzar, "Removal of dyes from the environment by adsorption process," *Chemical and Materials Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 31-35, 2018.
- [11] Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2019, October). Agricultural Production. [Online]. Available: <http://www.agriinfo.doae.go.th>
- [12] O. I. Aruoma, B. Landes, D. Ramful-Baboolall, E. Bourdon, V. Neergheen-Bhujun, K-H. Wagner and T. Bahorun, "Functional benefits of citrus fruits in the management of diabetes," *Preventive Medicine*, vol. 54, Supplement, pp. S12-S16, 2012.
- [13] M. Fatiha and B. Belkacem, "Adsorption of methylene blue from aqueous solutions using natural clay," *Journal of Materials and Environmental Science*, vol. 7, no. 1, pp. 285-292, 2016.
- [14] C. Umpuch and S. Sakaew, "Removal of methyl orange from aqueous solutions by adsorption using chitosan intercalated montmorillonite," *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, vol. 35, no. 4, pp. 451-459, 2013.
- [15] N. Jiwalak, S. Rattanaphani, J.B. Bremner and V. Rattanaphani, "Equilibrium and kinetic modeling of the adsorption of indigo carmine onto silk," *Fibers and Polymers*, vol. 11, no. 4, pp. 572-579, 2010.
- [16] U. Gecgel, O. Uner, G. Gokara and Y. Bayrak, "Adsorption of cationic dyes on activated carbon obtained from waste *Elaeagnus* stone," *Adsorption Science & Technology*, vol. 34, no. 9-10, pp. 512-525, 2016.
- [17] K. A. Kareem, "Removal and recovery of methylene blue dye from aqueous solution using *Avena fatua* seed husk," *Ibn Al-Haitham Journal for Pure and Applied Science*, vol. 29, no. 3, pp. 179-194, 2016.
- [18] R. Saadi, Z. Saadi, R. Fazaeli and N. E. Fard, "Monolayer and multilayer adsorption isotherm models for sorption from aqueous media," *Korean Journal of Chemical Engineering*, vol. 32, no. 5, pp. 787-799, 2015.
- [19] A. Ritthichai and S. Muncharoen, "Dye removal of textile wastewaters using crab shell activated carbon," *Burapha Science Journal*, vol. 19, no. 1, pp. 131-140, 2014.
- [20] S. Rattanapan and P. Kongsune, "Methylene blue adsorption onto activated charcoal prepared from mangosteen peel," *Thaksin University Journal*, vol. 21, no. 2, pp. 51-59, 2018.
- [21] K. Yothawong, L. Singngao, and W. Pongpatrakant, "Preparation of activated carbon from macadamia nut shells by sodium chloride," in *Proceeding of The 1st Loei Rajabhat University Annual Conference*, Thailand, 2019, pp. 35-44.