

การดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด

Methylene Blue Adsorption onto Activated Charcoal Prepared from Mangosteen Peel

ศุภาพร รัตนพันธ์¹ และพนิตา กังซุ่น^{2*}
Supaporn Rattanapan¹ and Panita Kongsune^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู ทำการทดลองแบบเบตซ์โดยศึกษาไอโซเทอร์ม จลนพลศาสตร์ และอุณหพลศาสตร์การดูดซับ ผลการทดลองพบว่า ไอโซเทอร์มการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลองของแลงเมียร์ จลนพลศาสตร์การดูดซับสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเทียม กลไกการดูดซับอธิบายว่าขึ้นกำหนดอัตราคือขึ้นการแพร่ของเมทิลีนบลูเข้าสู่ชั้นฟิล์มของถ่านกัมมันต์ ปฏิกิริยาการดูดซับเมทิลีนบลูเป็นแบบคายความร้อนมีค่าเอนทัลปีเท่ากับ -14.63 กิโลจูลต่อโมล การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์แสดงให้เห็นว่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์สามารถเกิดขึ้นได้เอง

คำสำคัญ: เมทิลีนบลู ถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด ไอโซเทอร์ม จลนพลศาสตร์ อุณหพลศาสตร์

Abstract

The activated carbon from mangosteen peel was used as an adsorbent for removal of methylene blue from the solution in a batch adsorption system. The isotherms, kinetics and thermodynamics of methylene blue adsorption were examined. The Langmuir isotherm was better in describing the adsorption process. The kinetics adsorption was fit well with pseudo-second order model. The mechanism of process was shown that the film diffusion was a rate-determining factor in the adsorption process. The thermodynamics study revealed that a change in enthalpy was -14.63 kJ/mol illustrated the exothermic adsorption process. The Gibbs free energy was negative value, suggesting spontaneous of adsorption process.

Keywords: Methylene Blue, Mangosteen Peel Activated Carbon, Isotherm, Kinetics, Thermodynamics

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² อ.ดร., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Graduate Student, Master Degree, Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Lecturer, Dr., Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: E-mail address: panita487@hotmail.com. Tel.: 076-609-634

บทนำ

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับชนิดหนึ่งที่มีความนิยมนำมาใช้เนื่องจากสามารถดูดซับตัวอย่างที่เป็นของเหลว ก๊าซ และไอได้ดี ไม่ว่องไวต่อความชื้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีรูพรุนชนิดที่แตกต่างกัน และที่สำคัญราคาไม่แพง [1] ถ่านกัมมันต์นิยมเตรียมได้จากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้ง จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีชีวมวลหลายชนิดที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ เช่น ผลทุเรียน [2] ไม้ไผ่ [3-4] กากกาแฟ [5] เปลือกทุเรียน [6] กะลามะพร้าว [1] กะลาปาล์ม [7] กากชา [8]

มังคุด เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ ได้รับการยกย่องให้เป็น “ราชินีแห่งผลไม้” (Queen of Fruits) มังคุดส่วนใหญ่นิยมรับประทานสด และภาคอุตสาหกรรมแปรรูปเป็นผลไม้กระป๋อง ทำให้มีส่วนที่เป็นเปลือกเหลือทิ้งค่อนข้างมาก ผลมังคุด 10 กิโลกรัมคิดเป็นเปลือกถึง 6 กิโลกรัม [9-10] ช่วงมังคุดออกผลเป็นช่วงฝนตกหนักทำให้ผลมังคุดหล่นจากต้นจำนวนมากซึ่งไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ กอปรกับในชุมชน ต.นาหมอนบุญ อ.จุฬาภรณ์ จ.นครศรีธรรมราช มีการทำน้ำส้มควันไม้จากเปลือกมังคุดทำให้มีถ่านเหลือทิ้งจากกระบวนการดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจนำเปลือกมังคุดมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ และเหตุผลที่สำคัญอีกประการคือเปลือกมังคุดมีปริมาณคาร์บอนค่อนข้างสูง ความชื้นและปริมาณสารระเหยไม่สูงมาก [9] ซึ่งเป็นสมบัติของวัสดุที่เหมาะสำหรับนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ และใช้เป็นวัสดุดูดซับสีเมทิลินบลู ซึ่งถือได้ว่าเป็นการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีอยู่พัฒนาทรัพยากรท้องถิ่นได้อย่างคุ้มค่าด้วยการเพิ่มมูลค่าเปลือกมังคุด

สีเมทิลินบลูเป็นสีเบสิก (Basic Dyes) ใช้กันมากที่สุดในการย้อมสี เมื่อมีการปนเปื้อนในน้ำจะก่อให้เกิดความเสี่ยง เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ [11] ดังนั้นจึงควรต้องมีการกำจัดสีเมทิลินบลูในน้ำก่อนทิ้งลงแหล่งน้ำสาธารณะ

ในงานวิจัยนี้สนใจลดปริมาณเมทิลินบลูโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดเป็นวัสดุดูดซับ และศึกษาไอโซเทอร์ม จลนพลศาสตร์ และอุณหพลศาสตร์ของการดูดซับเมทิลินบลูของถ่านกัมมันต์

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมถ่านกัมมันต์ (วัสดุดูดซับ)

ล้างเปลือกมังคุดด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บริเวณผิวของเปลือกมังคุด ผึ่งแดดให้แห้งนำไปเผาในเตาเผาโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส บดขยี้และคัดขนาดถ่านให้มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 200 ไมโครเมตร ผสมถ่านกับซิงค์คลอไรด์ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 (ถ่านต่อซิงค์คลอไรด์) [12] เเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที เพื่อเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ ล้างถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำปราศจากไอออน อบถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น ลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุดแสดงใน Rattanapan *et.al* [12]

2. การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสีเมทิลินบลู

ชั่งถ่านกัมมันต์ 0.25 กรัมลงในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำละลายเมทิลินบลูที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 40 60 80 100 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 200 มิลลิตร ปรับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 เขย่าที่ความเร็ว 240 รอบต่อนาที วิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายเมทิลินบลูที่เหลือด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-1700 Phamaspac) ความยาวคลื่น 668 นาโนเมตร หาความสามารถในการดูดซับตามสมการที่ 1

$$q_e = \left(\frac{C_0 - C_e}{m} \right) V \quad (1)$$

เมื่อ q_e คือความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม) C_0 คือความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย เมทิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อลิตร) C_e คือความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) V คือปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ (ลิตร) และ m คือน้ำหนักถ่านที่ใช้ในการดูดซับ (กรัม) [9-11]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู

ไอโซเทอร์มของการดูดซับคือการนำข้อมูลจากการทดลองที่สภาวะสมดุลมาหาไอโซเทอร์มที่เหมาะสมเพื่ออธิบายลักษณะการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด ไอโซเทอร์มที่นิยมศึกษาได้แก่ ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ [13] ฟรุนดลิช [14] เทมกิน [14] และคูบินิน [15]

ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ใช้อธิบายลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของตัวดูดซับแบบชั้นเดียว แบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์แสดงดังสมการที่ 2

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m} \quad (2)$$

เมื่อ K_L คือค่าคงที่การดูดซับแบบแลงเมียร์ (ลิตรต่อมิลลิกรัม) และ q_m คือปริมาณดูดซับสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกรัม) เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/q_m$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $1/K_L q_m$ แสดงในภาพที่ 1(A)

สำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิชใช้อธิบายลักษณะของการดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับแบบหลายชั้นบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ สมการเส้นตรงของแบบจำลองของฟรุนดลิชแสดงดังสมการที่ 3

$$\log(q_e) = \log(K_F) + \frac{1}{n} \log(C_e) \quad (3)$$

เมื่อ K_F คือค่าคงที่ของการดูดซับแบบฟรุนดลิช และ $1/n$ คือความเข้มของการดูดซับ ถ้า $n > 1$ การดูดซับเกิดขึ้นเป็นอย่างดี เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(q_e)$ กับ $\log(C_e)$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log(K_F)$ ซึ่งแสดงในภาพที่ 1(B)

ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเทมกินเป็นไอโซเทอร์มที่ศึกษาเกี่ยวกับพลังงานของการดูดซับ สมการเส้นตรงของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเทมกินแสดงดังสมการที่ 4

$$q_e = B_T \ln K_T + B_T \ln C_e \quad (4)$$

เมื่อ K_T คือพลังงานของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ B_T คือความร้อนของการดูดซับ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ของการดูดซับหน่วยเป็นเคลวิน R คือค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 J/K.mol) B_T และ K_T คำนวณได้จากการเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง q_e และ $\ln C_e$ จะได้เส้นตรงที่มีความชัน B_T และจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ $B_T \ln K_T$ ซึ่งแสดงในภาพที่ 1(C)

ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบดูบินินสามารถบอกพลังงานการดูดซับที่เกิดขึ้นได้ และสมการเส้นตรงของไอโซเทอร์มการดูดซับ Dubinin-Radushkevich แสดงดังสมการที่ 5-7

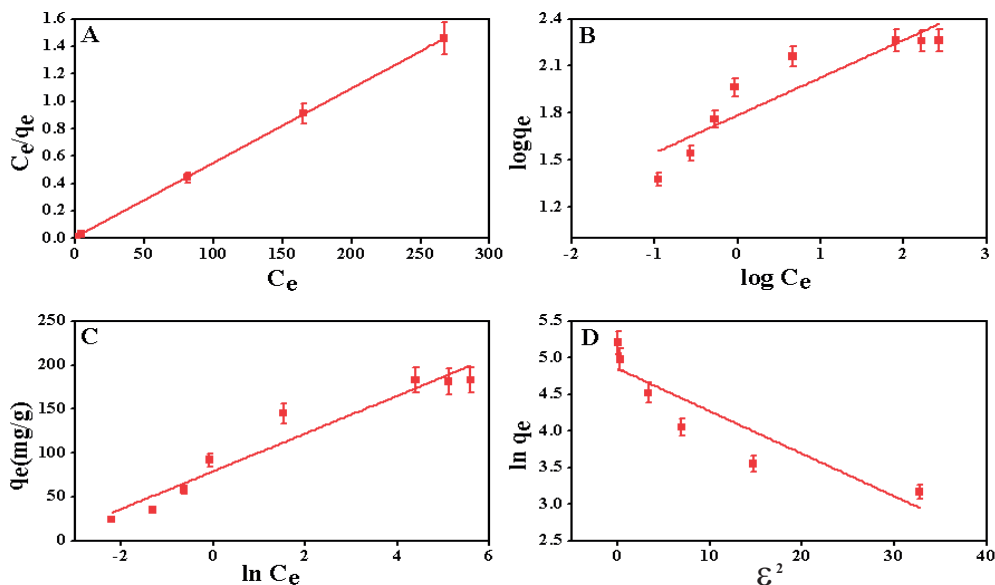
$$\ln q_e = \ln q_m - K_D \varepsilon^2 \quad (5)$$

$$\varepsilon = RT \ln(1 + 1/C_e) \quad (6)$$

$$E = 1/\sqrt{2K_D} \quad (7)$$

K_D คือค่าพลังงานของการดูดซับ ส่วน ε^2 คือค่าความเข้มข้นสมมูลคำนวณได้จากสมการที่ 7 ส่วน E คือค่าพลังงานของการดูดซับ (kJ/mol) สามารถใช้เป็นพารามิเตอร์แยกประเภทของการดูดซับ [2] เมื่อเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln q_e$ และ $\ln C_e$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-K_D$ และจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ $\ln q_m$ แสดงในภาพที่ 1(D) และค่าคงที่ไอโซเทอร์มการดูดซับของสมการแลงเมียร์ ฟรุนดลิช เทมกิน และ ดูบินินแสดงดังตารางที่ 1

พิจารณาภาพที่ 1 และค่าคงที่ไอโซเทอร์มการดูดซับในตารางที่ 1 พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุดสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์มากกว่าแบบฟรุนดลิชเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.99 ซึ่งมากกว่า R^2 ของแบบจำลองฟรุนดลิชมีค่าเท่ากับ 0.84 แสดงให้เห็นว่าการดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์และเมื่อพิจารณาค่าความสามารถดูดซับสูงสุดดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า q_m เท่ากับ 181.81 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง 175.84 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งแสดงว่าถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด 1 กรัมสามารถดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูสูงสุด 181.82 มิลลิกรัม จากแบบจำลองไอโซเทอร์มของเทมกิน B_1 เท่ากับ 21.54 กิโลจูลต่อโมลแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์เป็นปฏิกิริยาการดูดซับแบบคายความร้อนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lemraski, E.G. and Sharafinia, S. [15] และจากแบบจำลองไอโซเทอร์มของดูบินินมีค่า K_D เท่ากับ 0.06 ลิตรต่อมิลลิกรัม และ E เท่ากับ 2.79 กิโลจูลต่อโมล แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับแบบกายภาพ [2]



ภาพที่ 1 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ (A) แลงเมียร์ (B) ฟรุนด์ลิช (C) เทมกิน และดูบินิน (D)

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ไอโซเทอร์มการดูดซับของสมการแลงเมียร์ ฟรุนด์ลิช เทมกิน และ ดูบินิน

Model	Langmuir			Freundlich			Temkin			Dubinin-Radushkevich			
Parameters	K_L	q_m	R^2	K_F	n	R^2	K_T	B_1	R^2	K_D	q_m	E	R^2
value	1.00	181.81	0.99	61.16	4.16	0.84	39.44	21.54	0.94	0.06	141.28	2.79	0.84

2. จลนศาสตร์การดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู

การศึกษาอัตราเร็วของการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด โดยใช้แบบจำลองแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-First Order) และ ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (Pseudo-Second Order) สมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียมแสดงได้ดังสมการที่ 8

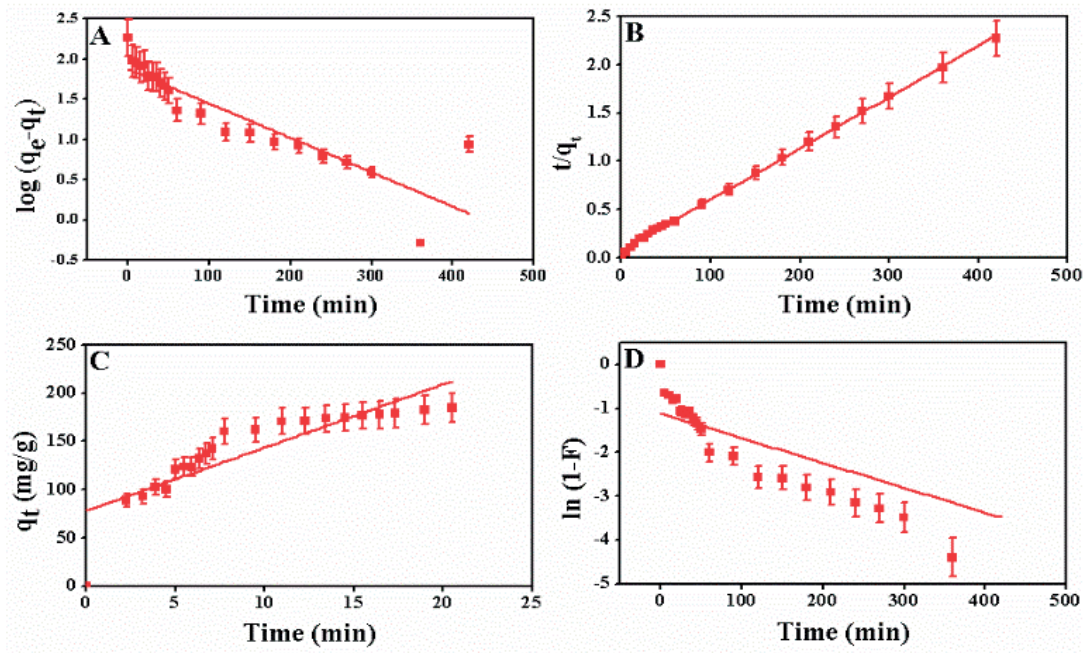
$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1 t}{2.303} \quad (8)$$

เมื่อนำข้อมูลจากการศึกษาผลความเข้มข้นมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง $\log (q_e - q_t)$ กับ t จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-K_1/2.303$ และจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ $\log q_e$ ดังแสดงในภาพที่ 2(A) และสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียมแสดงดังสมการที่ 9

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (9)$$

เมื่อ K_2 คือค่าคงที่อัตราเร็วการดูดซับของปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (กรัมต่อมิลลิกรัม-นาทึ) นำข้อมูลจากการศึกษาผลความเข้มข้นมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง t/q_t กับ t ได้กราฟเส้นตรงดังแสดงในภาพที่ 2(B) ที่มีความชันเท่ากับ $1/q_e$ และจุดตัดแกนตั้งเท่ากับ $1/K_2 q_e^2$ ข้อมูลของการศึกษาอัตราเร็วของการดูดซับแสดงดังตารางที่ 2

ผลการศึกษากลไกการดูดซับของการดูดซับเปรียบเทียบกับสมการจลพลศาสตร์ 2 แบบ พบว่าค่า R^2 ที่ได้จากอัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสองเทียมมีความสอดคล้องกับจลนพลศาสตร์การดูดซับเมทิลีนบลูมากกว่าสมการจลนพลศาสตร์อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม โดยค่าการดูดซับที่สมดุลที่ได้จากการคำนวณจากสมการอัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสองเทียมหรือค่า $q_{e(cal)}$ เท่ากับ 200.00 มิลลิกรัมต่อกรัม มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองหรือค่า $q_{e(exp)}$ เท่ากับ 175.84 มิลลิกรัมต่อกรัมมากกว่าแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียมที่แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Li, G., *et al.* [16]



ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาเทียมอันดับหนึ่งเทียม (A) ปฏิกิริยาเทียมอันดับสองเทียม (B) Intraparticle Diffusion Model (C) และ Film Diffusion Model (D)

ตารางที่ 2 ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม และปฏิกิริยาอันดับสองเทียม

Model	Pseudo-First Order				Pseudo-Second Order			
Parameters	$q_{e(cal)}$ (mg/g)	$q_{e(exp)}$	K_1 (min) ⁻¹	R^2	$q_{e(cal)}$ (mg/g)	$q_{e(exp)}$	K_2 (g/mg.min)	R^2
Value	74.82	175.84	0.01	0.80	200.00	175.84	0.0004	0.99

3. กลไกการดูดซับของถ่านกัมมันต์

การศึกษากลไกการดูดซับของการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุดโดยใช้รูปแบบการแพร่หรือ Intraparticle Diffusion อธิบายลักษณะการแพร่ของตัวถูกดูดซับหรือเมทิลีนบลูไปสู่ตัวดูดซับหรือถ่านกัมมันต์ซึ่งแสดงดังสมการที่ 10 [17]

$$q_t = K_{\text{dif}} t^{1/2} + C \quad (10)$$

เมื่อเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง q_t และ $t^{1/2}$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ K_{dif} และมีจุดตัดแกนเท่ากับ C ซึ่งแสดงในภาพที่ 2(C) การแพร่ระหว่างโมเลกุลจะเป็นขึ้นกำหนดอัตราเมื่อกราฟตัดผ่านจุดกำเนิดหรือเมื่อ C เท่ากับ 0 เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.74 และ ค่า C เท่ากับ 78.11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะการแพร่ระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับหรือเมทิลีนบลูไปสู่ตัวดูดซับหรือถ่านกัมมันต์ไม่ได้เป็นขึ้นกำหนดอัตรา

ส่วน Liquid Film Diffusion เป็นแบบจำลองศึกษาการแพร่สู่ชั้นฟิล์มของถ่านกัมมันต์แสดงดังสมการที่ 11 [19]

$$\ln(1 - F) = -K_{\text{fd}} t \quad (11)$$

โดยที่ $F = q_t/q_\infty$ เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(1 - F)$ และ t จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-K_{\text{fd}}$ ซึ่ง K_{fd} คือค่าคงที่การแพร่สู่ชั้นฟิล์ม แสดงดังภาพที่ 2(D) เมื่อพิจารณาค่าที่แสดงดังตารางที่ 3 พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.93 และค่าคงที่การแพร่สู่ชั้นฟิล์มเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อนาที และจุดตัดแกนเท่ากับ 0.79 ถือได้ว่าผ่านจุดกำเนิด ซึ่งเป็นสิ่งที่ยืนยันได้ว่าการแพร่สู่ชั้นฟิล์มเป็นขึ้นกำหนดอัตรา ดังนั้นการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการแพร่สู่ชั้นฟิล์ม การแพร่สู่ชั้นฟิล์มของถ่านกัมมันต์นั้นถ้าชั้นฟิล์มหนาจะทำให้มีแรงต้านระหว่างไอออนของเมทิลีนบลูกับพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chaudhry, S.A., *et al.* [19]

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของกลไกการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด

Model	Intraparticle Diffusion Model			Film Diffusion Model	
Parameter	$K_i(\text{mg/g.min})$	C	R^2	$K_{\text{fd}}(\text{mg/g.min})$	R^2
Value	6.56	78.11	0.74	0.01	0.93

4. พารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์

พารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของการดูดซับ (ΔH°) การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการดูดซับ (ΔS°) คำนวณได้จากสมการที่ 12 เมื่อ R คือค่าคงที่ของก๊าซ (8.314 J/mol K) และ T คืออุณหภูมิ (K) เมื่อเขียนกราฟตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 12 จะได้ค่าพารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์แสดงดังตารางที่ 4 และพลังงานอิสระของกิบส์คำนวณได้จากสมการ $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ$

$$\ln \frac{q_e}{C_e} = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (12)$$

จากตารางการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (ΔH°) เท่ากับ -14.63 กิโลจูลต่อโมลแสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุดเป็นการดูดซับแบบคายความร้อนซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาแบบจำลองไอโซเทอร์มของเทมกิน ส่วนการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (ΔS°) เท่ากับ -0.04 กิโลจูลต่อโมลต่อเคลวินแสดงว่าความไม่เป็นระเบียบของถ่านกัมมันต์ลดลงหลังจากดูดซับเมทิลีนบลู การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ (ΔG°) พบว่าค่าที่ได้เป็นลบแสดงให้เห็นว่าการดูดซับเกิดได้เองและความสามารถในการดูดซับลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการดูดซับ

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด

ΔH° (KJ/mol)	ΔS° (KJ/mol.K)	ΔG° (KJ/mol)		
		303K	323K	343K
-14.63	-0.04	-2.00	-1.15	-0.32

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดพบว่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 175.84 มิลลิกรัมต่อกรัม ลักษณะการดูดซับบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวและเป็นการดูดซับทางกายภาพ ส่วนจลนพลศาสตร์การดูดซับอธิบายได้ว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเทียม กลไกการดูดซับอธิบายว่าขึ้นกำหนดอัตราคือขึ้นการแพร่ของเมทิลีนบลูเข้าสู่ชั้นฟิล์มของถ่านกัมมันต์ปฏิกิริยาการดูดซับเมทิลีนบลูเป็นแบบคายความร้อนมีค่าเอนทัลปีเท่ากับ -14.63 กิโลจูลต่อโมล การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์แสดงให้เห็นว่าการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้เองและความสามารถในการดูดซับลดลงเมื่ออุณหภูมิของการดูดซับเพิ่มขึ้น

คำขอบคุณ

การวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยโครงการการวิจัยเงินรายได้ มหาวิทยาลัยทักษิณ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ประเภททุนวิจัยร่วมบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tan, Y.L., Islam, M.A., Asif, M. and Hameed, B.H. (2014). "Adsorption of Carbon Dioxide by Sodium Hydroxide-Modified Granular Coconut Shell Activated Carbon in a Fixed Bed", **Energy**. 77, 926-931.
- [2] Ghasemi, M., Zeinaly, K.M., Bavand, A.A., Ghasemi, N., Javadian, H. and Fattahi, M. (2015). "Microwave-Assisted Functionalization of *Rosa Canina-L* fruits Activated Carbon with Tetraethylenepentamine and its Adsorption Behavior Toward Ni(II) in Aqueous Solution: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies", **Powder Technology**. 274, 362-371.
- [3] Liu, Q.S., Zheng, T., Li, N., Wang, P. and Abulikemu, G. (2009). "Modification of Bamboo-Based Activated Carbon Using Microwave Radiation and its Effects on the Adsorption of Methylene Blue", **Applied Surface Science**. 256(10), 3309-3315.
- [4] Chotitham, L., Sumanatrakul, P. and Kongsune, P. (2016). "Preparation Characterization and Application for Lead Adsorption of *Dendrocalamus Asper Backer* Bamboo Activated Carbon", **Thaksin University Journal**. 19(2), 43-52.
- [5] Hirata, M., Kawasaki, N., Nakamura, T., Matsumoto, K., Kabayama, M., Tamura, T. and Tanada, S. (2002). "Adsorption of Dyes onto Carbonaceous Materials Produced from Coffee Grounds by Microwave Treatment", **Journal of Colloid and Interface Science**. 254(1), 17-22.
- [6] Nuithitikul, K., Srikhun, S. and Hirunpraditkoon, S. (2009). "Influences of Pyrolysis Condition and Acid Treatment on Properties of Durian Peel-Based Activated Carbon", **Bioresource Technology**. 101(1), 426-429.

- [7] Kongnoo, A., Inthrapat, P., Worathanakul, P. and Phalakornkule, C. (2016). “Diethanolamine Impregnated Palm Shell Activated Carbon for CO₂ Adsorption at Elevated Temperatures”, **Journal of Environmental Chemical Engineering**. 4(1), 73-81.
- [8] Gokce, Y. and Aktas, Z. (2014). “Nitric Acid Modification of Activated Carbon Produced from Waste Tea and Adsorption of Methylene Blue and Phenol”, **Applied Surface Science**. 313, 352-359.
- [9] Foo, K.Y. and Hameed, B.H. (2012). “Factors Affecting the Carbon Yield and Adsorption Capability of the Mangosteen Peel Activated Carbon Prepared by Microwave Assisted K₂CO₃ Activation”, **Chemical Engineering Journal**. 180, 66-74.
- [10] Chen, Y., Huang, B., Huang, M. and Cai, B. (2011). “On the Preparation and Characterization of Activated Carbon from Mangosteen Shell”, **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**. 42(5), 837-842.
- [11] Suttanan, R. and Piyamongkala, K. (2011). “Kinetic and Thermodynamic Adsorption of Methylene Blue by Modified Rice Husk”, **The Journal of KMUTNB**. 21, 337-348.
- [12] Rattanapan, S., Pengjam, P. and Kongsune, P. (2014). “Preparation and Characterization of Mangosteen Peel Activated Carbon”, **Thaksin University Journal**. 17(3), 13-21.
- [13] Langmuir, I. (1918). “The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica and Platinum”, **Journal of the American Chemical Society**. 40, 1361-1403.
- [14] Freundlich, H. (1906). “Over the adsorption in solution”, **Journal of Physical Chemistry**. 57, 385-470.
- [15] Lemraski, E.G. and Sharafinia, S. (2016). “Kinetics, Equilibrium and Thermodynamics Studies of Pb²⁺ Adsorption onto New Activated Carbon Prepared from Persian Mesquite Grain”, **Journal of Molecular Liquids**. 219, 482-492.
- [16] Li, G., Zhang, D., Wang, M., Huang, J. and Huang, L. (2013). “Preparation of Activated Carbons from Iris Tectorum Employing Ferric Nitrate as Dopant for Removal of Tetracycline from Aqueous Solutions”, **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 98, 273-282.
- [17] Chaudhry, S.A., Ahmed, M., Siddiqui, S.I. and Ahmed, S. (2016). “Fe(III)–Sn(IV) Mixed Binary Oxide Coated Sand Preparation and its Use for the Removal of As(III) and As(V) from Water: Application of Isotherm, Kinetic and Thermodynamics”, **Journal of Molecular Liquids**. 224 Part A, 431-441.