

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

## การดูดซับทางชีวภาพสีย้อมโรดามีน บีด้วยรากผักตบชวาตัดแปรร

สุदारัตน์ สมบัติศรี\* ฉัตรพร พุทธิชน ศิริรัตน์ เนินกลาง สิรีรัตน์ ลิศนันท์  
และ กรกนก บุญเสริม

คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

รับบทความ 26 พฤษภาคม 2017; ตอรับบทความ 15 สิงหาคม 2017

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับทางชีวภาพของสีย้อมโรดามีน บีโดยใช้รากผักตบชวาตัดแปรร โดยการทดลองการดูดซับทำในถังปฏิกรณ์แบบกะและศึกษาอิทธิพลต่างๆต่อการดูดซับ ประกอบด้วย พีเอชของสารละลาย เวลาในการดูดซับ ปริมาณตัวดูดซับ และความเข้มข้นของสีย้อมโรดามีน บี ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมโรดามีน บี 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 6 เวลา 60 นาที เมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับ 0.1 กรัม ผลการวิจัยพบว่า การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับโดยใช้สมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียมและปฏิกิริยาอันดับสองเทียมเพื่อคำนวณหาค่าคงที่อัตราการดูดซับ ความจุของการดูดซับที่สภาวะสมดุล และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่า ข้อมูลการทดลองสอดคล้องกับสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียมและเมื่อนำแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช มาอธิบายไอโซเทอมของการดูดซับและค่าคงที่ไอโซเทอม พบว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์ โดยรากผักตบชวาตัดแปรรมีความสามารถในการดูดซับ 63 มิลลิกรัมต่อกรัม

**คำสำคัญ:** การดูดซับทางชีวภาพ; รากผักตบชวาตัดแปรร; สีย้อมโรดามีน บี

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

## Biosorption of Rhodamine B Dyes Using Modified Water Hyacinth Roots

Sudarat Sombatsri\* Chattaporn Puttichon Sirirat Nernklang Sireerat Lisnund and Kornkanok Boomserm

Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan  
744 Suranarai Road, Muang, Nakhon Ratchasima 30000

---

*Received 26 May 2017; accepted 15 August 2017*

### Abstract

The biosorption of Rhodamine B using modified water hyacinth roots was studied. The adsorption experiments were conducted in a batch setup. Parameters affecting the adsorption of Rhodamine B including pH of a solution, adsorption time, adsorbent dose, and dyes concentration were investigated. With the 80 mg/L Rhodamine B solution of pH 6.0, adsorption time of 60 min and 0.10 g of modified water hyacinth roots, the kinetic models, pseudo-first order and pseudo-second order kinetic model were applied to examine the kinetic adsorption. The adsorption kinetic data correlates with pseudo-second order kinetic model. The Langmuir and Freundlich adsorption models were applied to describe the isotherms and isotherm constants. Adsorption isotherm data correlates with Langmuir adsorption model. The maximum adsorption capacity of modified water hyacinth roots for Rhodamine B was found to be 63 mg/g

**Keywords:** Biosorption; modified water hyacinth roots; Rhodamine B

## 1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษทางน้ำนับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นสาเหตุเกิดจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของภาคอุตสาหกรรมที่มีการพัฒนาระบบการผลิตเพื่อเพิ่มปริมาณสินค้า เพราะในอุตสาหกรรมต่าง ๆ จำเป็นต้องใช้ น้ำในกระบวนการผลิต เช่น โรงงานฟอกสีย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่มักมีสีย้อมและสารเคมีบางชนิดตกค้างอยู่ในน้ำทิ้งจำนวนมากและบำบัดได้ยาก แม้ว่าสีย้อมจะมีความเป็นพิษต่ำแต่หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัดก็จะเป็นการทำลายทัศนียภาพ รวมทั้งยังขัดขวางการส่องผ่านของแสงอาทิตย์ลงสู่ใต้ผิวน้ำ ทำให้เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่ต้องควบคุมมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ [1]

โดยทั่วไปการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ นิยมใช้ระบบบำบัดทางชีวภาพหรือระบบเติมสารเคมี ซึ่งสามารถบำบัดตะกอนแขวนลอยและ BOD ได้ในระดับดี แต่ในส่วนของสีและสารอื่น ๆ ที่ไม่สามารถบำบัดได้ ยังคงอยู่ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว ดังนั้น การกำจัดสีย้อมด้วยวิธีการดูดซับจึงเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพ ซึ่งตัวดูดซับที่ภาคอุตสาหกรรมนิยมใช้คือ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับมาก แต่ในทางปฏิบัติถ่านกัมมันต์ยังคงมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาตัวดูดซับที่เตรียมได้จากธรรมชาติเพื่อเป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสี และส่งเสริมให้น้ำวิเศษเหลือทิ้งในท้องถิ่นมาสร้างคุณค่า [2-5]

ผักตบชวาเป็นวัชพืชที่มีการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้นก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบนิเวศน์ทางน้ำและยังขัดขวางการไหลของน้ำ โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่ของรากผักตบชวาเป็นเซลลูโลส ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ

สีย้อมและเป็นการกำจัดผักตบชวาอีกรูปแบบหนึ่ง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีนารากผักตบชวามาตัดแปรทำเป็นตัวดูดซับ โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีการทดลองแบบกะ ศึกษาผลของความเป็นกรดเบส ปริมาณตัวดูดซับ ระยะเวลาในการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม รวมทั้งไอโซเทอมและจลนศาสตร์การดูดซับ

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 การเตรียมตัวดูดซับ

เก็บผักตบชวาจากแหล่งน้ำสาธารณะและนำส่วนที่เป็นรากมาล้างทำความสะอาด นำไปตากแดดและนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งหรือน้ำหนักของรากผักตบชวาคงที่ จากนั้นนำมาบดละเอียดโดยใช้เครื่องบดและร่อนให้มีขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตร แชรากผักตบชวาที่บดละเอียดแล้วในสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจนได้ พีเอช 7 อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการตัดแปรรากผักตบชวาบด [6] โดยซึ่งกรดซัลฟอนิกแอนไฮไดรด์ ( $C_4H_6O_4$ ):รากผักตบชวาบด ในอัตราส่วน 10:1 นำมาให้ความร้อนที่ oil bath และปั่นกวนเป็นระยะเวลา 20 นาที และหยุดปฏิกิริยาด้วยไดเมทิลอะเซตาไมด์ ( $CH_3CON(CH_3)_2$ ) นำมารองและล้างด้วยอะซิโตน น้ำปราศจากไอออน และไดเมทิลอะเซตาไมด์ ตามลำดับ นำมาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง จะได้ตัวดูดซับสำหรับการทดลอง

### 2.2 การดูดซับสีย้อมโรดามีน บี

การทดลองแบบกะ (batch) ทำโดยชั่งตัวดูดซับ 0.1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ปีเปตสารละลายสีย้อมโรดามีน บี ( $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$ ) ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 6 ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร จากนั้น นำไปปั่นกวนตามเวลาที่กำหนด นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสีย้อมโรดามีน บี ที่เหลือหลังการดูดซับ

อยู่ด้วยเครื่องอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer; UV-VIS: Shimadzu; UV-2450) ที่ความยาวคลื่น 554 นาโนเมตร โดยศึกษาอิทธิพลของพีเอช ปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม ซึ่งแต่ละอิทธิพลทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาร้อยละการดูดซับตามสมการที่ (1)

$$\%adsorption = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

$C_0$  คือ ความเข้มข้นของสีย้อมโรดามีน บี เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$C_t$  คือ ความเข้มข้นของสีย้อมโรดามีน บี ที่ดูดซับ เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

และคำนวณหาความสามารถในการดูดซับที่สถานะสมดุลตามสมการที่ (2)

$$q_t = \frac{(C_0 - C_e)}{W} V \quad (2)$$

โดยที่

$q_t$  คือ ความสามารถในการดูดซับที่เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$C_0$  คือ ความเข้มข้นของสีย้อมโรดามีน บี เริ่มต้น

$C_e$  คือ ความเข้มข้นของสีย้อมโรดามีน บี ที่สมดุล

$V$  คือ ปริมาตรของสารละลายสีย้อมโรดามีน บี (มิลลิลิตร)

$W$  คือ ปริมาณของตัวดูดซับ (กรัม)

### 2.3 ตรวจสอบลักษณะเฉพาะของตัวดูดซับ

การทำการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของรากผักตบชวาสด (WHR) และรากผักตบชวาดัดแปร

(WHR-M) ด้วยเครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FTIR: Perkin Elmer; Spectrum 100)

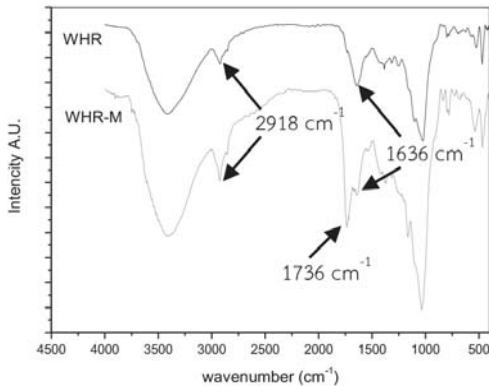
### 2.4 การหาประจุที่ผิวเป็นศูนย์ (Point of zero charge) ของตัวดูดซับ

เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ที่พีเอช 2.0 ถึง 11.0 จากนั้นนำตัวดูดซับ 25 มิลลิกรัม ใส่ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิลิตร ที่พีเอชต่าง ๆ ปั่นกวน 24 ชั่วโมง จากนั้นวัดพีเอชหลังการปั่นกวน [7]

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 3.1 การตรวจสอบลักษณะเฉพาะของตัวดูดซับ

ผลการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของตัวดูดซับ โดยใช้ FTIR ในช่วงเลขคลื่น 4000-450  $\text{cm}^{-1}$  ได้สเปกตรัม ดังรูปที่ 1 พบว่า รากผักตบชวาและรากผักตบชवादัดแปรมีสเปกตรัม ที่เลขคลื่น 3700-2800  $\text{cm}^{-1}$  แสดงลักษณะของ O-H stretching (Lignocelluloses Structure) ที่ 2918  $\text{cm}^{-1}$  แสดงลักษณะ C-H stretching (Alkanes) ที่ 1636  $\text{cm}^{-1}$  แสดงลักษณะ R-(C=O)-OR stretching ที่ C-H Symmetric stretching ที่ 1020  $\text{cm}^{-1}$  แสดงลักษณะ C-O stretching of  $-\text{CH}_3$  group (Lignocelluloses Compound) และที่เลขคลื่น 800-900  $\text{cm}^{-1}$  แสดงลักษณะ aromatics compounds [8] และเมื่อนำรากผักตบชวามาตัดแปรด้วยกรดซัลฟิวริก พบว่า มีหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่น 1736  $\text{cm}^{-1}$  เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นเลขคลื่นที่แสดงถึงหมู่คาร์บอนิล (C=O) ของกรด (R-(C=O)-O-H) หมู่ฟังก์ชันนี้จะถูกเติมให้กับโครงสร้างของรากผักตบชวาผ่านกระบวนการเกิดสารประกอบเอสเทอร์ (Ester Linkage) โดยกรดอินทรีย์จะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ในเซลลูโลส



รูปที่ 1 FTIR spectrum ของรากผักตบชวา (WHR) และรากผักตบชวาตัดแปรร (WHR-M)

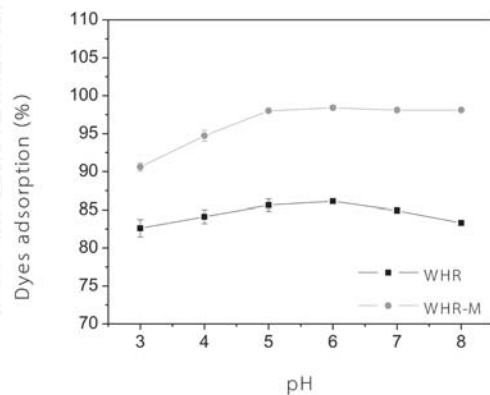
### 3.2 อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับ

ผลการดูดซับสีย้อมโรดามีน บี ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 6 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เวลา 60 นาที เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวดูดซับ 0.05, 0.10 และ 0.50 กรัม พบว่า มีร้อยละการดูดซับเท่ากับ  $86.60 \pm 0.26$ ,  $98.10 \pm 0.08$  และ  $99.50 \pm 0.10$  ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมีผลทำให้ร้อยละการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณ ณ จุดหนึ่งความสามารถในการกำจัดสีย้อมจะคงที่หรือจะลดลง รากผักตบชวาตัดแปรรปริมาณ 0.10 กรัม มีปริมาณเพียงพอสำหรับการดูดซับ โดยให้ร้อยละการดูดซับเกือบ 100 % ดังนั้นจึงเลือกปริมาณเท่ากับ 0.10 กรัม

### 3.3 อิทธิพลของพีเอช

พีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อความเข้มข้นโปรตอน ( $H^+$ ) ในสารละลาย และเกี่ยวข้องกับการดูดซับของโมเลกุลที่บริเวณแอคทีฟ (Active Site) ของตัวดูดซับ โดยรากผักตบชวาตัดแปรร มีค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ ( $pH_{pzc}$ ) เท่ากับ 3.3 แสดงว่า เมื่อสารละลายมีความเป็นกรด-เบสมากกว่าค่า  $pH_{pzc}$  ผิวของตัวดูดซับจะเกิดการแตกตัวทำให้ผิว

ตัวดูดซับแสดงประจุลบ มีผลทำให้สามารถดูดซับสีย้อมประจุบวกได้มากขึ้น ดังนั้น เมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอช ของสารละลาย 3-8 ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าที่พีเอช 3 มีค่าการดูดซับสีย้อมน้อยเนื่องจากสารละลายเต็มไปด้วยโปรตอน และหมู่ฟังก์ชันบริเวณพื้นผิวตัวดูดซับแสดงประจุเป็นบวก ดังนั้น จะเกิดการแข่งขันในการเข้าจับกับหมู่ฟังก์ชันบนตัวดูดซับระหว่างการเข้าจับกับหมู่ฟังก์ชันบนตัวดูดซับระหว่างโปรตอนกับสีย้อมที่เป็นประจุบวกเหมือนกัน ทำให้ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อพีเอชของสารละลายมากกว่า 6 จะเห็นได้ว่าการดูดซับเริ่มลดลง เนื่องจากสีย้อมแสดงลักษณะเป็นสวิตเซอร์ไอออน (Zwitterion) คือ สีย้อมแสดงประจุบวกและประจุลบอยู่ในโมเลกุล โดยจะเกิดประจุที่หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) ทำให้โมเลกุลของสีย้อมโรดามีนบี มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น (Dimer) จึงจำเป็นต้องใช้พื้นที่มากในการดูดซับต่อโมเลกุลสีย้อม ทำให้จำนวนโมเลกุลสีย้อมต่อหน่วยพื้นที่ตัวดูดซับมีค่าลดลง ดังนั้นร้อยละการดูดซับจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shah และคณะ [9] ดังนั้น จึงเลือกใช้พีเอชของสารละลายเท่ากับ 6 สำหรับการทดลอง

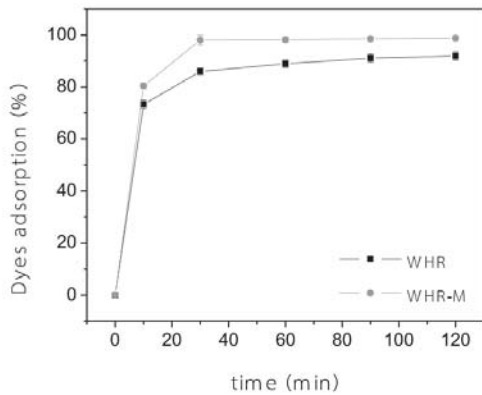


รูปที่ 2 อิทธิพลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับ

### 3.4 อิทธิพลของเวลาและจลนศาสตร์การดูดซับ

#### ดูดซับ

เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาสำหรับการดูดซับเป็น 10-120 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะ ณ เวลาใด ๆ มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก (10 นาที) เนื่องจากแรงขับเคลื่อนและผลต่างของความเข้มข้นของสีย้อมในสารละลายกับปริมาณสีย้อมบนตัวดูดซับที่มาก จากนั้น ปริมาณดูดซับจำเพาะ ณ เวลาใด ๆ จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าจนกระทั่งเข้าสู่สมดุล เมื่อเข้าสู่สมดุลแล้วระยะเวลาจะไม่มีผลกระทบต่อระบบ และที่เวลา 60 นาที พบว่า มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับมากกว่า 90%



รูปที่ 3 อิทธิพลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ

เมื่อทำการศึกษ้อัตราเร็วปฏิกิริยาของการดูดซับโดยใช้แบบจำลองสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first-order)

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (3)$$

และแบบจำลองสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (Pseudo-second-order)

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (4)$$

โดยที่

$q_e$  คือ ความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$q_t$  คือ ความสามารถในการดูดซับที่ดูดซับ ณ เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (นาที)

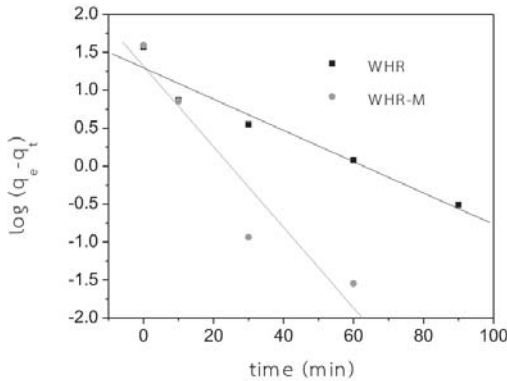
$k_1$  และ  $k_2$  คือ ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (ต่อนาที) และค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่สอง (กรัมต่อมิลลิกรัม-นาที) ตามลำดับ

เมื่อนำข้อมูลจากการศึกษาอิทธิพลของเวลา มาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log(q_e - q_t)$  กับ เวลา (t) ดังรูปที่ 4(ก) และ  $t/q_t$  กับเวลา (t) ดังรูปที่ 4(ข) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียมให้ผลการทดลองสอดคล้องมากกว่าแบบจำลองสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม ดังตารางที่ 1

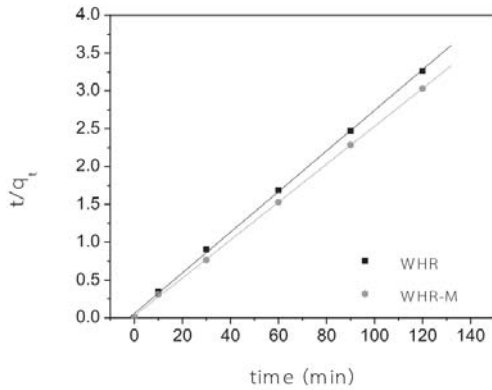
ตารางที่ 1 ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาและอันดับการเกิดปฏิกิริยา

ตัวดูดซับ	ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม			ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม		
	$q_e$ (mg/g)	$k_1$ (1/min)	$R^2$	$q_e$ (mg/g)	$k_2$ (g/mg min)	$R^2$
WHR	19.724	0.046	0.943	38.462	0.012	0.999
WHR-M	20.797	0.122	0.904	40.000	0.033	0.999





(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ตามสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม



(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ตามสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม

**รูปที่ 4** กราฟแสดงจลนศาสตร์การดูดซับ

ดังนั้นสันนิษฐานได้ว่า กลไกการดูดซับสีย้อมโรดามีน บี ของรากผักตบชวาตัดแปรเป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงทางเคมี โดยมีค่าคงที่อัตราเร่งเกิดปฏิกิริยาอันดับสองเทียมเท่ากับ 0.033

**3.5 อิทธิพลของความเข้มข้นและไอโซเทอมการดูดซับ**

เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตั้งแต่ 20-120 มิลลิกรัมต่อลิตร นำข้อมูลที่ได้ไปศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสีย้อม

ที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับกับความเข้มข้นสีย้อมที่เหลืออยู่ที่สภาวะสมดุล เพื่อหาไอโซเทอมที่เหมาะสมและใช้อธิบายลักษณะการดูดซับ ซึ่งจะพิจารณาความถูกต้องของไอโซเทอมจากการดูดซับจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีความใกล้เคียงหนึ่งมากที่สุด (R<sup>2</sup>)

แบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับที่ใช้มีสองแบบคือ แบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงเมียร์

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_L q_0} \frac{1}{C_e} \tag{5}$$

โดยที่

$q_e$  คือ ความสามารถในการดูดซับที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$q_m$  คือ ปริมาณสูงสุดของสีย้อมที่สามารถดูดซับแบบชั้นเดียวต่อตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$C_e$  คือ ความเข้มข้นของสีย้อมที่สมดุล

$K_L$  คือ ค่าคงที่แลงเมียร์ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

และ แบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับแบบฟรุนดลิช

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \tag{6}$$

โดยที่

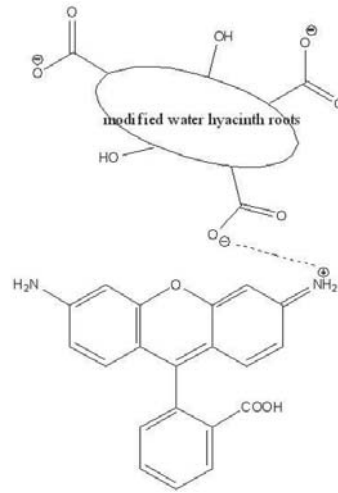
$q_e$  คือ ความสามารถในการดูดซับที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$K_F$  คือ ค่าคงที่ฟรุนดลิช (มิลลิกรัมต่อกรัม)

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

เมื่อใช้สมการแลงเมียร์และฟรุนดลิช พบว่า รากผักตบชวา (WHR) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการทดลองสอดคล้องกับสมการฟรุนดลิชมากกว่าแลงเมียร์ อธิบายได้ว่า การดูดซับเกิดขึ้นจากแรงดึงดูดเป็นแรงทางเคมีที่เป็นแบบหลายชั้น ในขณะที่ รากผักตบชวาตัดแปร (WHR-M) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการทดลองสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์

มากกว่าฟรอนด์ลิช โดยแบบจำลองของแลงเมียร์อธิบายได้ว่า สีย้อมโรดามีน บี จะถูกยึดไว้ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนพื้นผิวของรากผักตบชวาตัดแปรเท่านั้น (หมายความว่า การดูดซับสามารถเกิดได้มากที่สุด และมีความหนาเพียงชั้นเดียว) แต่แต่ละตำแหน่งจะสามารถจับสีย้อมได้เพียงตัวเดียวเท่านั้น (รูปที่ 5) ความแตกต่างระหว่างพลังงานของการดูดซับจะไม่ขึ้นกับปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับลงไปบนพื้นผิวก่อน [10] จากสมการสามารถคำนวณหาค่าความจุการดูดซับของตัวดูดซับได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2



รูปที่ 5 ปฏิกริยาการดูดซับบนพื้นผิวของรากผักตบชวาตัดแปรกับสีย้อมโรดามีน บี

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของการดูดซับแบบแลงเมียร์และ ฟรอนด์ลิช

ตัวดูดซับ	แบบจำลองการดูดซับแลงเมียร์			แบบจำลองการดูดซับฟรอนด์ลิช		
	$q_m$ (mg/g)	$K_L$ (L/mg)	$R^2$	$1/n$	$K_F$ (L/mg)	$R^2$
WHR	50	0.541	0.884	0.176	24.155	0.912
WHR-M	63	4.000	0.935	0.193	40.179	0.876

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณสีย้อมโรดามีน บี ที่ถูกดูดซับสูงสุด ( $q_m$ ) ด้วยรากผักตบชวาตัดแปร กับวัสดุดูดซับชนิดอื่นที่นักวิจัยท่านอื่นได้ศึกษามา พบว่าความสามารถในการดูดซับสูงสุด อยู่ระดับปานกลาง

ดังแสดงในตารางที่ 3 แต่วัสดุดูดซับที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้ มีขั้นตอนการเตรียมที่น้อยและง่ายกว่า รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการดูดซับสั้นกว่าวิธีอื่น ๆ ด้วย



ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบปริมาณสีย้อมโรดามีน บี ที่ถูกดูดซับสูงสุด ( $q_m$ ) ของวัสดุดูดซับที่ใช้ในงานวิจัยอื่น เทียบกับงานวิจัยนี้

ชนิดวัสดุดูดซับ	$q_m$ (mg/g)	อ้างอิง
Banana pith	8.50	[2]
Walnut shell	2.29	[8]
Duolite C-20 resin	28.57	[11]
Sodium montmorillonite	42.19	[12]
Coir pith	203.20	[13]
Tannic acid functionalized graphene	201.21	[14]
WHR-M	63.00	งานวิจัยนี้

#### 4. สรุป

การดูดซับสีย้อมโรดามีน บี ในสารละลายโดยใช้ รากผักตบชวาตัดแปรด้วยกรดซึนิกเป็นตัวดูดซับ พบว่า ที่สารละลายพีเอช 6 ใช้เวลาการบั่นกวน 60 นาที รากผักตบชวาตัดแปร มีความสามารถในการดูดซับ สูงสุด 63 มิลลิกรัมสีย้อมต่อกรัมตัวดูดซับ จลนศาสตร์ ของการดูดซับสอดคล้องกับสมการปฏิกิริยาอันดับสอง เทียม ส่วนไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับสมการ แลงเมียร์ อธิบายได้ว่า การดูดซับเป็นแบบชั้นเดียวและ พื้นที่ผิวของการดูดซับเป็นปัจจัยการดูดซับที่สำคัญ

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับอุปกรณ์และสารเคมี สำหรับทำวิจัย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

[1] Notification of Ministry of Science, Technology and Environment. "Industrial Effluent Standards for Industrial Plants and Industrial Estates" in *the Royal Government Gazette*, vol. 113, no. 3, Feb. 13, B.E.2539 (1996).

[2] C. Namasivayam, N. Kanchana, and R.T. Yamuna, "Waste banana pith as adsorbent for the removal of rhodamine-B from aqueous solution", *Waste Management*, vol. 13, pp. 89-95, 1993.

[3] M.V. Sureshkumar and C. Namasivayam, "Adsorption behavior of Direct Red 12B and Rhodamine B from water onto surfactant-modified coconut coir pith," *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 317, pp. 277-283, 2008.

[4] H.M.H. Gad and A.A. El-Sayed, "Activates carbon from agricultural by-products for the removal of Rhodamine B from aqueous solution," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 168, pp. 1070-1081, 2009.

[5] Y. Gou, J. Zhao, H. Zhang, S. Yang, J. Qi, Z. Wang and H. Xu, "Use of rice husk-based porous carbon for adsorption of Rhodamine B from aqueous solution," *Dyes and Pigment*, vol. 66, pp. 123-128, 2005.

- [6] A.P. Vieira, S.A.A. Santana, C.W.B. Bezerra, H.A.S. Silva, J.C.P. Melo, E.C.S. Filho and C. Airoidi, "Copper sorption from aqueous solutions and sugar cane spirits by chemically modified babassu coconut (*Orbignya speciosa*) mesocarp," *Chemical Engineering Journal*, vol. 161, pp. 99-105, 2010.
- [7] W.F. Tan, S.J. Lu, X.H.J. Feng, Z. He and L.K. Koopal, "Determination of the point of zero charge of manganese oxides with different methods including and improved salt," *Soil Science*, vol. 173, pp. 277-286, 2008.
- [8] J.C. Zheng, H.M. Feng, M.H.W. Lam, P.K.S. Lam, Y.W. Ding and H.Q. Yu, "Removal of Cu(II) in aqueous media by biosorption using water hyacinth roots as a biosorbent material," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 171, pp. 780-785, 2009.
- [9] J. Shah, M.R. Jan, A. Haq and Y. Khan, "Removal of Rhodamine B from aqueous solutions and wastewater by walnut shells: kinetics, equilibrium and thermodynamics studies," *Frontiers of chemical Science and Engineering*, vol. 71, pp. 780-785, 2013.
- [10] N. Tangkananuruk and K. Tangkananuruk, *Principle of chemical water quality analysis*, Bangkok: Kasetsart University Press. 2007.
- [11] S. M. Al-Rashed and A. A. Al-Gaid "Kinetic and thermodynamic studies on the adsorption behavior of Rhodamine B dye on Duolite C-20 resin," *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 16, pp. 209-215, 2012.
- [12] P.P. Selvam, S. Preethi, P. Basakaralingam, N. Thinakaran, A. Sivasamy and S. Sivanesan, "Removal of Rhodamine B from aqueous solution by adsorption onto sodium montmorillonite," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 155, pp. 39-44, 2008.
- [13] C. Namasivayam, M.D. Kumar, K. Selvi, R.A. Begum, T. Vanathi and R.T. Yamuna, "Waste coir pith-a potential biomass for the treatment of dyeing wastewater," *Biomass and Bioenergy*, vol. 21, pp. 477-483. 2001.
- [14] K. Liu, H. Li, Y. Wang, X. Gou and Y. Duan, "Adsorption and removal of rhodamine B from aqueous solution by tannic acid functionalized graphene," *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 477, pp. 35-41, 2015.