

# การดูดซับสีย้อมไคเร็กต์บลู 86 โดยไคโตซานและแกลบ

## Adsorption Direct Blue 86 Dye By Chitosan And Rice Husk

ณัฐรัตน์ เรืองรอง มธุรส แฉวทรัพย์ โกวิทย์ ปิยะมังกลา

ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับสีย้อมไคเร็กต์บลู 86 โดยใช้ไคโตซานและแกลบเป็นตัวดูดซับ ทำการทดลองแบบแบตช์ ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับและความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม พบว่าการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับและความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมมีผลทำให้ร้อยละการดูดซับและความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น ไคโตซานและแกลบมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมสูงสุดเท่ากับ 21.9 และ 5.8 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ตัวดูดซับทั้งสองชนิดมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ การออกแบบสำหรับกำจัดสีย้อมร้อยละ 100 เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ใช้ไคโตซานและแกลบปริมาณ 4.6 และ 16.7 กรัม ตามลำดับ

**คำสำคัญ :** สีย้อมไคเร็กต์บลู 86 ไคโตซาน แกลบ การดูดซับ

### Abstract

The chitosan and the rice husk were used as adsorbents for the adsorption of direct blue 86 dye in batch process. The effects of the amount of adsorbent and initial concentration of dye were thoroughly investigated. It was found that increasing amount of adsorbent and initial concentration of dye increased the percent adsorption and adsorption capacity, respectively. The highest adsorption capacity of the chitosan and the rice husk were 21.9 and 5.8 mg/g, respectively. The Langmuir isotherm was suitable for describing the adsorption isotherm of both adsorbents. Batch designs for removal of dye amount 100% when initial concentration of dye at 100 mg/L to achieve wastewater 1 L were 4.6 and 16.7 g for chitosan and rice husk, respectively.

**Keywords :** Direct blue 86, Chitosan, Rice husk, Adsorption

### 1. บทนำ

สีย้อมเมื่อปนเปื้อนลงในน้ำเสีย แม้มีอยู่ในน้ำเสียเพียงปริมาณเล็กน้อย ก็สามารถทำให้น้ำเสียมีสีเป็นที่รังเกียจของผู้พบเห็น จึงต้องมีการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม สีย้อมที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรม จำแนกตามวิธีการใช้งานแบ่งได้ 7 ประเภทดังนี้ สีไคเร็กต์ สีรีแอคทีฟ สีเบสิก สีแอซิก สีวัต สีซัลเฟอร์และสีดิสเพิร์ส

[1] การกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียทำได้หลายกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แก่ การดูดซับ การแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา การย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์และเอนไซม์ [2]

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ มีหมู่ไฮดรอกซิล (OH) และหมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) ในโครงสร้างของโมเลกุล พบในเปลือกนอกของกระดองปู แกนหมึก หรือเปลือกกุ้ง ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล มีลักษณะเด่นได้แก่รวมตัวกับเซลล์สิ่งมีชีวิตได้ดี สลายตัวได้โดยจุลินทรีย์และไม่มีพิษ ไคโตซานมีการนำมาใช้เป็น

ตัวดูดซับกรดแทนนิก กรดฮิวมิกและสีช้อม [3] โลหะหนัก ที่เป็นพิษได้แก่ทองแดงและตะกั่ว [4] ตลอดจนโลหะเงิน ซึ่งเป็นโลหะที่มีค่า [5]

แกลบเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินร้อยละ 32, 21 และ 21 ตามลำดับ [6] เป็นวัสดุที่มีขนาดเล็กและไม่ละลายน้ำ มีความชื้นต่ำ มีน้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวสูงและรูพรุนมีขนาดเล็ก มีความต้านทานต่อสารเคมี โดยปกติแล้ว จะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือทิ้งเป็นขยะ แกลบมีการนำมาใช้เป็นตัวดูดซับโลหะหนักและสีช้อม [7] เป็นต้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำโคโคซานและแกลบมาดูดซับสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 โดยศึกษาผลปริมาณตัวดูดซับและความเข้มข้นเริ่มต้นสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 นำมาหาร้อยละการดูดซับและความสามารถในการดูดซับ จากนั้นศึกษาหาไอโซเทอมและออกแบบการดูดซับแบบเบตซ์ ตามลำดับ

## 2. วิธีการทดลอง

โคโคซานจากเปลือกกุ้งสั่งซื้อจากบริษัท Seafresh (ประเทศไทย) จำกัด (เกรดการล้างมี %DD>95) ผลการวิเคราะห์จากเครื่องวัดปริมาตรรูพรุน ขนาดรูพรุนและพื้นที่ผิว (BEL รุ่น Belsorp-mini) พบว่ามีค่าเท่ากับ  $7.49 \times 10^{-3}$  ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม 9.9 นาโนเมตร และ 3.02 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

แกลบนำมาล้างด้วยน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง กรองเพื่อแยกแกลบออกมา จากนั้นนำไปอบในตู้อบ [Binder, รุ่น: FD 53] ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นปั่นโดยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ [Phillips, รุ่น: HR 2068] ใช้เวลา 1 นาที ได้ผงแกลบ วัดปริมาตรรูพรุน ขนาดรูพรุน และพื้นที่ผิว มีค่าเท่ากับ  $4.53 \times 10^{-3}$  ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม 12.4 นาโนเมตร และ 1.32 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ รูพรุนของโคโคซานและแกลบจัดอยู่ในขนาดโพรงกลาง (Mesopore) มีค่าอยู่ในช่วง 2-50 นาโนเมตร

สีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 สั่งซื้อจากบริษัท Sigma Aldrich (เกรดห้องปฏิบัติการ) มีสูตรโมเลกุลและมวลโมเลกุลเท่ากับ  $C_{32}H_{14}CuN_8Na_2O_6S_2$  และ 780.16 กรัมต่อโมลตามลำดับ

## 2.1. ผลปริมาณตัวดูดซับ

ซึ่งตัวดูดซับปริมาณ 0.2-1.0 กรัม ลงในขวดรูปชมพูนำสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 ความเข้มข้นเริ่มต้น 80.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงไป จากนั้นเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Umac Scientific รุ่น UM-S60) ที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที ทำการเก็บสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 ที่สมดุลการดูดซับ (120 นาที) นำสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 ที่เหลือจากการดูดซับมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer รุ่น Genesys 20) ที่ความยาวคลื่น 606 นาโนเมตร คำนวณหาร้อยละการดูดซับ (% Adsorption) ตามสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละการดูดซับ} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $C_0$  หมายถึงความเข้มข้นเริ่มต้นของสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 (มิลลิกรัมต่อลิตร) และ  $C_e$  หมายถึงความเข้มข้นที่สถานะสมดุลของสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

## 2.2. ผลความเข้มข้นเริ่มต้นของสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86

ซึ่งตัวดูดซับปริมาณ 0.8 กรัม เติมสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.0-80.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำไปเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 ที่สมดุลการดูดซับ นำสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 ที่เหลือจากการดูดซับวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 606 นาโนเมตร คำนวณหาความสามารถในการดูดซับ ( $q_e$ ) ตามสมการที่ 2

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

เมื่อ  $q_e$  หมายถึงความสามารถในการดูดซับสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 ที่สถานะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)  $V$  หมายถึงปริมาตรสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 (ลิตร) และ  $W$  หมายถึงปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)

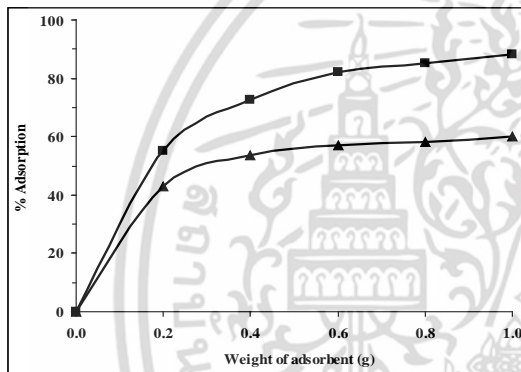
## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

### 3.1. ผลปริมาณตัวดูดซับ

การดูดซับสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวดูดซับจาก 0.2-1.0 กรัม แสดงในรูปที่ 1 พบว่าทั้งโคโคซานและแกลบมีร้อยละการดูดซับสีช้อมไดเร็กซ์บลู 86 เท่ากับ 55.0-88.3 และ 42.8-60.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมีผลทำให้ร้อยละการดูดซับสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86 เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับและบริเวณที่เกิดการดูดซับมีมากขึ้น [8] ไคโตซานมีร้อยละการดูดซับสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86 มากกว่าแกลบ เนื่องจากไคโตซานมีปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวมากกว่าแกลบ 1.7 และ 2.2 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้หม้ออะมิโนบนไคโตซานมีแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic attraction) กับสีข้อมที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี [9] ตัวดูดซับทั้งสองชนิด ปริมาณ 0.8 กรัม มีร้อยละการดูดซับใกล้เคียงกับปริมาณ 1.0 กรัม ดังนั้นจึงใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.8 กรัม ศึกษาผลความเข้มข้นเริ่มต้นสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86

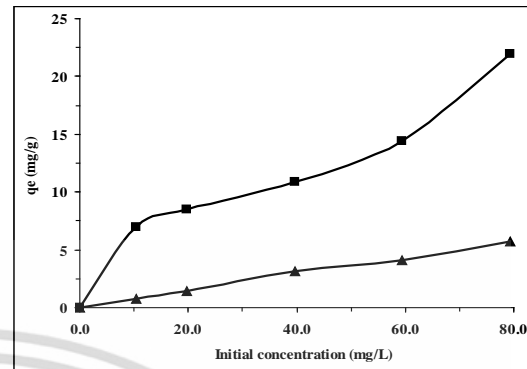


รูปที่ 1 ร้อยละในการดูดซับสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86 ของ: ■ ไคโตซาน และ ▲ แกลบ

### 3.2. ผลความเข้มข้นเริ่มต้นสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86

ไคโตซานและแกลบนำมาดูดซับสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.0-80.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงในรูปที่ 2 พบว่าความสามารถในการดูดซับสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86 ของไคโตซานและแกลบมีค่าเท่ากับ 7.0-21.9 และ 0.8-5.8 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86 มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86 ในสารละลายกับบริเวณผิวของไคโตซานและแกลบเพิ่มสูงขึ้น เกิดแรงขับเคลื่อน (Driving force) เพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดการชนกันมากขึ้น ของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ

สอดคล้องกับการกำจัดสีข้อมออเรจ-จี และเมทิลไวโอเลตโดยเถ้าลอยขานอ้อย [10]



รูปที่ 2 ผลความเข้มข้นเริ่มต้นสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86 กับความสามารถในการดูดซับ: ■ ไคโตซาน และ ▲ แกลบ

### 3.3. ไอโซเทอมการดูดซับ

สมการการดูดซับตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ และสมการเส้นตรงแบบแลงเมียร์ เขียนได้ดังสมการที่ 3 และสมการที่ 4 ตามลำดับ

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

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} \frac{1}{K_L C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (4)$$

เมื่อ  $q_m$  หมายถึงความสามารถในการดูดซับสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ  $K_L$  หมายถึงค่าคงที่ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

สมการการดูดซับตามไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช และสมการเส้นตรงแบบฟรุนดลิช เขียนได้ดังสมการที่ 5 และสมการที่ 6 ตามลำดับ

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (5)$$

$$\text{Log } q_e = \frac{1}{n} \text{Log } C_e + \text{Log } K_F \quad (6)$$

เมื่อ  $K_F$  หมายถึงค่าคงที่ของฟรุนดลิช แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)(ลิตรต่อมิลลิกรัม)<sup>1/n</sup> และ  $n$  หมายถึงค่าคงที่ของฟรุนดลิช ที่อธิบายถึงความเข้มข้นของการดูดซับ (ไม่มีหน่วย)

สมการเส้นตรงแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิชของการดูดซับสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86 โดยไคโตซานและแกลบ ดังแสดงในรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 ในขณะที่ผลการคำนวณความสามารถในการดูดซับสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86 ของไคโต

ชานและแกลบ ที่สภาวะสมดุล ตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิชแสดงในรูปที่ 5 ค่า  $q_m$ ,  $K_L$ ,  $1/n$ ,  $K_F$  และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) แสดงในตารางที่ 1 ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของไคโตซานและแกลบ สำหรับการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 86.9 และ 185.2 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าการทดลองของ Douissa และคณะ [11] ที่ใช้เซลล์โลสที่สกัดได้จาก *Posidonia oceanica* เป็นตัวดูดซับ มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์บลู 86 สูงสุดเท่ากับ 44.5 มิลลิกรัมต่อกรัม

ความถูกต้องของไอโซเทอมพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิช พบว่าไคโตซานมีค่าเท่ากับ 0.9944 และ 0.9943 ตามลำดับ แกลบมีค่าเท่ากับ 0.9934 และ 0.9801 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์มีค่ามากกว่าไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ดังนั้นจึงลงความเห็นว่า การดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์บลู 86 โดยไคโตซานและแกลบมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ อธิบายได้ว่าสีย้อมไคเร็กซ์บลู 86 ดูดซับอยู่บนผิวหน้าของไคโตซานและแกลบ ที่มีลักษณะเหมือนกัน หนึ่งชั้น (Monolayer) สอดคล้องกับการทดลองของ Hu และคณะ ที่ใช้เบนโทไนท์ดูดซับสีย้อมเบสิก [12]

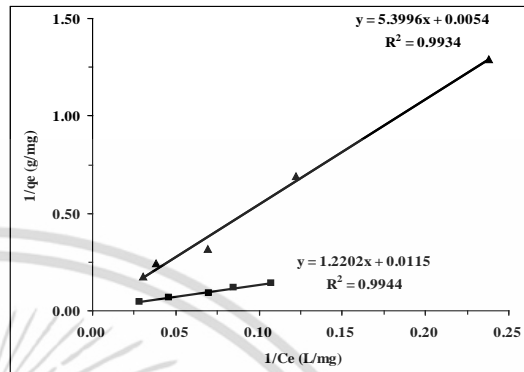
ไคโตซานและแกลบดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์บลู 86 สอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ นำมาคำนวณหาปัจจัยการแยก (Separation factor,  $R_L$ ) ได้ดังสมการที่ 7

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (7)$$

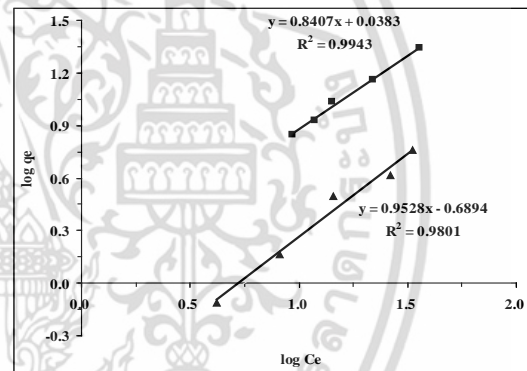
เมื่อ  $R_L$  หมายถึงปัจจัยการแยก (ไม่มีหน่วย)

Amin [13] อธิบายผลการคำนวณปัจจัยการแยกนำมาแปลความหมายได้ 4 แนวทางดังนี้  $R_L > 1$  อธิบายว่าไม่สอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับ (Unfavorable)  $R_L = 1$  อธิบายว่าไอโซเทอมการดูดซับเป็นเส้นตรง (Linear)  $0 < R_L < 1$  อธิบายว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับ (Favorable) และ  $R_L = 0$  อธิบายว่าไอโซเทอมการดูดซับผันกลับไม่ได้ (Irreversible)

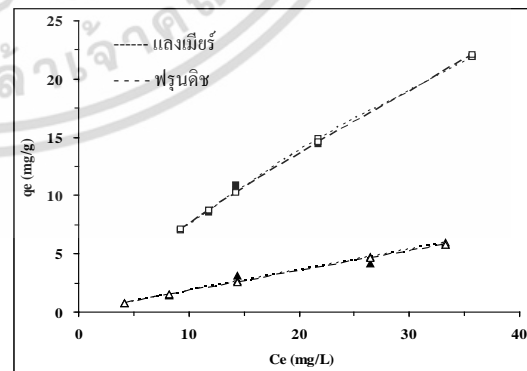
ปัจจัยการแยกของการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์บลู 86 โดยไคโตซานและแกลบพบว่ามีความอยู่ระหว่าง 0-1 ดังแสดงในตารางที่ 1 อธิบายได้ว่าตัวดูดซับทั้งสองชนิดมีการดูดซับที่ดีภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้น



รูปที่ 3 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์บลู 86 แบบแลงเมียร์ของ: ■ ไคโตซาน และ ▲ แกลบ



รูปที่ 4 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์บลู 86 แบบฟรุนดลิชของ: ■ ไคโตซาน และ ▲ แกลบ



รูปที่ 5 สมดุลในการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์บลู 86 ของ: ■ ไคโตซาน และ ▲ แกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และแบบฟรอนด์ลิชของการดูดซับสีย้อมไครีเคต์บลู 86 โดยไคโตซานและแกลบ

Adsorbent	Concentration (mg/L)	$q_{e,exp}$	Langmuir				Freundlich		
			$q_m$	$K_L$	$R^2$	$R_L$	$K_F$	$1/n$	$R^2$
Chitosan	10.0	7.0				0.914			
	20.0	8.5				0.841			
	40.0	10.9	86.9	0.0094	0.9944	0.726	1.09	0.8407	0.9943
	60.0	14.4				0.639			
	80.0	21.9				0.570			
Rice husk	10.0	0.8				0.990			
	20.0	1.5				0.980			
	40.0	3.2	185.2	0.0010	0.9934	0.962	0.02	0.9528	0.9801
	60.0	4.1				0.943			
	80.0	5.8				0.926			

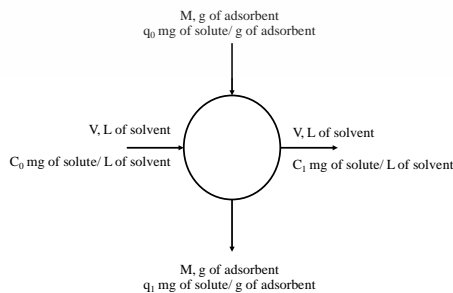
3.4. การออกแบบกระบวนการดูดซับแบบแบตช์

ข้อมูลจากไอโซเทอมการดูดซับนำมาใช้งานอีกครั้ง สำหรับการออกแบบกระบวนการดูดซับแบบแบตช์ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยสีย้อมไครีเคต์บลู 86 ที่ต้องการบำบัดใช้สัญลักษณ์ V และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมไครีเคต์บลู 86 ที่ต้องการกำจัดมีค่าจาก  $C_0$  ถึง  $C_1$  ให้ M เป็นปริมาณตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับสีย้อมไครีเคต์บลู 86 เพิ่มสูงขึ้นจาก  $q_0$  ถึง  $q_1$  กระบวนการดูดซับในช่วงเริ่มต้นใช้ตัวดูดซับใหม่ เป็นผลให้  $q_0 = 0$  ในขณะที่กระบวนการดูดซับกำลังดำเนินการอยู่ ตัวดูดซับที่อยู่ในสารละลายเคลื่อนที่มาเกาะอยู่บนผิวหน้าตัวดูดซับ สมดุลมวลของกระบวนการดูดซับนำเสนอโดย Eren และ Acar [14] เขียนได้ดังสมการที่ 8

$$V(C_0 - C_1) = M(q_0 - q_1) = Mq_1 \tag{8}$$

เมื่อกระบวนการดูดซับอยู่ในสภาวะสมดุล เขียนได้ดังสมการที่ 9

$$C_1 \rightarrow C_e \text{ and } q_1 \rightarrow q_e \tag{9}$$



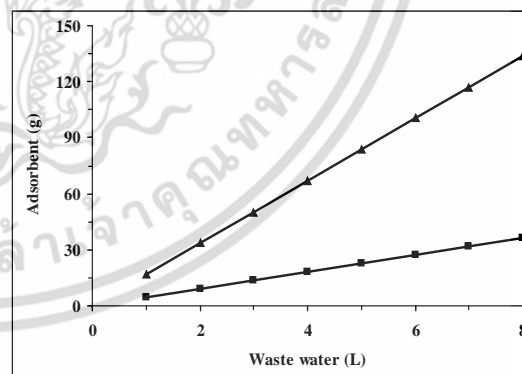
รูปที่ 6 สมดุลมวลการดูดซับแบบแบตช์

การดูดซับสีย้อมไครีเคต์บลู 86 สำหรับไคโตซานและแกลบมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์

ดังนั้นสมการที่ 8 จัดรูปใหม่และแทน  $q_1$  ด้วยสมการที่ 3 เขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ 10

$$\frac{M}{V} = \frac{(C_0 - C_e)}{\left( \frac{86.9 \times 0.0094 \times C_e}{1 + (0.0094 \times C_e)} \right)} = \frac{(C_0 - C_e)}{\left( \frac{185.2 \times 0.001 \times C_e}{1 + (0.001 \times C_e)} \right)} \tag{10}$$

สมการที่ 9 นำมาใช้คำนวณหาปริมาณตัวดูดซับ โดยรูปที่ 7 แสดงการกำจัดสีย้อมไครีเคต์บลู 86 ปริมาตร 1-8 ลิตร เมื่อต้องการกำจัดสีย้อมไครีเคต์บลู 86 ร้อยละ 100 พบว่าการกำจัดสีย้อมไครีเคต์บลู 86 ปริมาตร 1-8 ลิตร ใช้ไคโตซานปริมาณ 4.6-36.6 กรัม ตามลำดับ ในลักษณะเดียวกันต้องใช้แกลบปริมาณมากถึง 16.7-133.9 กรัม ตามลำดับ



รูปที่ 7 ปริมาณไคโตซานกับปริมาตรสีย้อมที่ต้องการกำจัดร้อยละ 100 ของ: ■ ไคโตซาน และ ▲ แกลบ

4. สรุป

ไคโตซานและแกลบมีขนาดรูพรุนเท่ากับ 9.9 และ 12.4 นาโนเมตร ตามลำดับ จัดอยู่ในจำพวกรูพรุนขนาดกลาง ตัวดูดซับปริมาณ 0.8 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมไครีเคต์บลู 86 มีค่าเท่ากับ 80.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งไคโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชานและแกลบมีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 21.9 และ 5.8 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ไคโตซานมีความสามารถในการดูดซับสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86 มากกว่าแกลบ เนื่องจากมีปริมาณรูพรุนและพื้นที่ผิวมากกว่าแกลบ หมู่อะมิโนของไคโตซานมีแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตกับสีข้อมที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี ทั้งไคโตซานและแกลบมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ การออกแบบกระบวนการดูดซับแบบแบดจ์ให้การกำจัดสีข้อมไคเร็กซ์บลู 86 เกิดขึ้นร้อยละ 100 สำหรับน้ำเสียปริมาตร 1 ลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้องใช้ไคโตซานและแกลบประมาณ 4.6 และ 16.7 กรัม ตามลำดับ

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มจพ. ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับทำงานวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Demirbas, "Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: a review," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 167, pp. 1-9, 2009.
- [2] E. Forgaca, T. Cserháti and G. Oros, "Removal of synthetic dyes from wastewater: a review," *Environmental International*, vol. 30, pp. 953-971, 2004.
- [3] M.Y. Chang and R.S. Juang, "Adsorption of tannic acid, humic acid, and dyes from water using the composite of chitosan and activated clay," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 278, pp. 18-25, 2004.
- [4] M.W. Wan, C.C. Kan, B.D. Rogel and M.L.P. Dalida, "Adsorption of copper (II) and lead (II) ions from aqueous solution on chitosan-coated sand," *Carbohydrate Polymers*, vol. 80, pp. 891-899, 2010.
- [5] K. Elwakeel, G.O. El-Sayed and R.S. Darweesh, "Fast and selective removal of silver (I) from aqueous media by modified chitosan resin," *International Journal of Mineral Processing*, vol. 120, pp. 26-34, 2013.
- [6] S. Chakraborty, S. Chowdhury and P.D. Saha, "Adsorption of crystal violet from aqueous solution onto NaOH-modified rice husk," *Carbohydrate Polymers*, vol. 86, pp. 1533-1541, 2011.
- [7] T.G. Chuah, A. Jumariah, I. Azni, S. Katayon and S.Y. Thomas Choong, "Rice husk as a potentially low-cost biosorbent for heavy metal and dye removal: an overview," *Desalination*, vol. 175, pp. 305-316, 2005.
- [8] B.H. Hameed, D.K. Mahmoud and A.L. Ahmad, "Equilibrium modeling and kinetic studies on the adsorption of basic dye by a low-cost adsorbent: Coconut (*Cocos nucifera*) bunch waste," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 158, pp. 65-72, 2008.
- [9] M.S. Chiou, P.Y. Ho and H.Y. Li, "Adsorption of anionic dyes in acid solutions using chemically cross-linked chitosan beads," *Dyes and Pigments*, vol. 60, pp. 69-84, 2004.
- [10] I.D. Mall, V.C. Srivastava and N.K. Agarwal, "Removal of orange-G and methyl violet dyes by adsorption onto bagasse fly ash-kinetic study and equilibrium isotherm analyses," *Dyes and Pigments*, vol. 69, pp. 210-223, 2006.
- [11] N.B. Douissa, S. Dridi-Dhaouadi and M.F. Mhenni, "Study of antagonistic effect in the simultaneous removal of two textile dyes onto cellulose extracted from *Posidonia oceanica* using derivative spectrophotometric method," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 2, pp. 1-9, 2014.
- [12] Q.H. Hu, S.Z. Qiao, F. Haghseresht, M.A. Wilson and G.Q. Lu, "Adsorption study for removal of basic red dye using bentonite," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 45, pp. 733-738, 2006.
- [13] N.K. Amin, "Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pith," *Desalination*, vol. 223, pp. 152-161, 2008.
- [14] Z. Eren and F.N. Acar, "Equilibrium and kinetic mechanism for reactive black 5 sorption onto high lime Soma fly ash," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 143, pp. 226-232, 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้