

การจัดทำวิจัยรีเอคทีฟและเบสิคไดเอในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้สารดูดซับที่เตรียมจากเถ้าแกลบดำ

Removal of Reactive and Basic Dye in Synthetic Wastewater Using Adsorbent Prepared from Black Rice Husk Ash

กนกพร อนันต์ชื่นสุข* และณัฐดา ลำลีแก้ว

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ถนนพหลโยธิน
ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000 E-mail: kanokporn_anan@hotmail.com

บทคัดย่อ

เถ้าแกลบดำซึ่งเป็นกากของเสียทางการเกษตรที่สามารถนำมาใช้เป็นสารดูดซับราคาถูก สารดูดซับจากเถ้าแกลบดำถูกสังเคราะห์โดยการแยกซิลิกาออกแล้วเผากระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง สารดูดซับที่ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพ คือ มีค่าพื้นที่ผิวเฉลี่ยเท่ากับ 36.2 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 26.7 อังสตรอม จากนั้นทำการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองพบว่าการดูดซับรีเอคทีฟไดเอทิงโนวาคอน บลู และโนวาคอน เรด เป็นไปตามไอโซเทอมของฟรอนด์ลิช โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9149 และ 0.9641 ตามลำดับ และค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดตามสมการฟรอนด์ลิชเท่ากับ 0.0092 และ 0.0107 มิลลิกรัมต่อกรัม การดูดซับเบสิคไดเอแมกซิลอน บลู และแมกซิลอน เรด บนสารดูดซับไม่เป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์และฟรอนด์ลิช

คำสำคัญ : การดูดซับ ไอโซเทอม เถ้าแกลบดำ

Abstract

Rice husk ash, an agricultural waste residue was used to prepare the low cost adsorbent. The adsorbent made from rice husk ash is synthesized by extraction of silica and activation with H_3PO_4 as the activating agent at $450^\circ C$ for 1 hour. The adsorbent has a surface area of $36.2 \text{ m}^2/\text{g}$ with predominant mesopore diameter of $26.7 \text{ \AA}$. Adsorption isotherm of dye on the adsorbent was determined and correlated with Langmuir or Freundlich isotherm equations at room temperature. The results showed that the adsorption data of reactive dye : novacon blue and novacon red onto adsorbent fits well to Freundlich equation having correlation coefficients of 0.9149 and 0.9641, respectively, and consequently the adsorption from Freundlich equation are at 0.0092 and 0.0107 mg/g. The adsorption of basic dye : maxilon blue and maxilon red on the adsorbent did not associated both the Langmuir equation and Freundlich equation.

Keywords: adsorption, isotherm, rice husk ash

1. บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำและสารเคมีจำนวนมาก ได้แก่ การผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การย้อมสีและการฟอกย้อมซึ่งแต่ละขั้นตอนการผลิตได้ก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณและลักษณะที่แตกต่างกัน น้ำเสียที่ปล่อยออกมาประกอบด้วย สี ค่าบีโอดี ค่าความเป็นกรด-ด่าง สารแขวนลอย ความร้อน และอื่นๆ สารมลพิษส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียนั้นมาจากกระบวนการฟอกย้อม เนื่องจากกระบวนการฟอกย้อมมีสีย้อมที่ใช้ไม่หมด สีย้อมเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นที่สามารถติดอยู่กับเส้นด้าย แต่สีย้อมอีกส่วนหนึ่งจะไหลปนออกมารวมกับน้ำจากการซักล้างหรือน้ำจากกระบวนการผลิตอื่นๆ ไหลมารวมกันอยู่ในน้ำทิ้ง (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2542 และ สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ, 2525) สีย้อมที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานฟอกย้อมมีมากกว่า 1,000 ชนิด (สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว และคณะ, 2549) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างใหญ่ ซับซ้อนและมักเป็นสารประกอบที่มีพิษ อีกทั้งยังมีปริมาณมาก ขาดต่อการกำจัด เมื่อถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะแล้ว จะเกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและทัศนียภาพที่ไม่น่าดู ทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำและไปบดบังปริมาณแสงอาทิตย์ ที่ตกลงสู่ผิวน้ำทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงและระบบนิเวศน์เสียสมดุลไป และเกิดปัญหามลภาวะอีกด้วย (สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ, 2525 และ โสภาง ชินเวชกิจวานิชย์, 2540) ดังนั้นก่อนที่โรงงานอุตสาหกรรมจะปล่อยน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดสารดังกล่าวในน้ำเสียให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง การบำบัดน้ำเสียที่ผ่านมามีการใช้วิธีการทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพผสมกัน

แต่ก็ยังไม่เพียงพอที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำเสียให้สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้และการบำบัดขั้นสูง (Advanced treatment processes) ไม่เป็นนิยมเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ต้องการต้นทุนสูง การดูดซับด้วยสารดูดซับจึงเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆ ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสารดูดซับมีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุนกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงจึงสามารถดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี แต่สารดูดซับที่มีขายอยู่มีราคาสูง และการนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงเช่นเดียวกัน ดังนั้นการเตรียมสารดูดซับจากเถ้าแกลบดำ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการเตรียมสารดูดซับราคาถูกจากของเหลือทิ้งในโรงสีข้าว กล่าวคือเถ้าแกลบที่ได้จากการสีข้าวเมื่อผ่านการเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วจะได้เป็นเถ้าแกลบดำ ที่มีปริมาณมากและจัดเก็บยาก ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเถ้าแกลบดำ ลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และการลดการนำเข้าสารดูดซับจากต่างประเทศ จึงได้มีการนำเถ้าแกลบดำเหล่านี้ มาเตรียมเป็นสารดูดซับ แต่เนื่องจากเถ้าแกลบดำมีพื้นที่ผิวดำ ทำให้ต้องเพิ่มพื้นที่ผิวของเถ้าแกลบดำโดยการเผากระตุ้นจะได้เป็นสารดูดซับที่มีรูพรุนสูงขึ้นและการกระตุ้นด้วยสารเคมีจะทำให้ได้สารดูดซับที่มีสภาพผิวที่เหมาะสมทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ ในการทดลองจะทำการเผาเถ้าแกลบดำแบบอัดอากาศโดยกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาใช้ดูดซับสีย้อม 2 กลุ่ม คือสีย้อมรีแอคทีฟและสีย้อมเบสิกซึ่งละลายน้ำแล้วมีประจุลบและประจุบวกตามลำดับ และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสี โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ ระยะเวลา ปริมาณสารดูดซับ และค่าไอโซเทอมของการดูดซับ เพื่อวิเคราะห์

ค่าการดูดซับสูงสุดได้โดยใช้สมการฟรุนดลิช (Freundlich) และสมการแลงเมียร์ (Langmuir)

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการเตรียมสารดูดซับจากถั่วแกลบดำโดยเผากระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเพื่อใช้ดูดซับสี ย้อมรีแอทฟและสีย้อมเบสิก
2. วิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับของสารดูดซับที่ใช้ในการดูดซับสีย้อมรีแอทฟและสี ย้อมเบสิก
3. ประเมินค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดในการดูดซับของสารดูดซับที่เตรียมจากถั่ว แกลบดำจากไอโซเทอมแลงเมียร์และไอโซเทอม ฟรุนดลิช

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 การเตรียมสารดูดซับ

คัดขนาดถั่วแกลบดำด้วยตะแกรงร่อนเบอร์ 30-50 ได้ถั่วแกลบดำขนาด 0.30-0.60 มิลลิเมตร แยก ซิลิกาออกจากด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ล้าง กรองและอบให้แห้ง นำไปผสมกับกรดฟอสฟอริก ด้วยอัตราส่วนเนื้อกรด : ถั่วแกลบดำที่ได้แยกซิลิกา ออกแล้วที่อัตราส่วน 1: 2 โดยน้ำหนัก เติมน้ำกลั่น ต้มให้เดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาแบบอับ อากาศที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ในเตาเผา 24 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อปรับ ค่าพีเอชให้เป็นกลางเท่ากับ 7 (Puziy et al., 2002) อบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง รอให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้องเก็บไว้ใช้เป็น สารดูดซับ

3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

ในการทดลองใช้สีย้อม 2 ชนิด ได้แก่ สี น้ำเงินและสีแดงโดยใช้สี 2 ประเภท คือสีย้อมรีแอท-

ฟและสีย้อมเบสิก สีย้อมรีแอทฟ 2 สี คือ โนวา-คอน บลู C-R (น้ำเงิน) กับโนวาคอน เรด CR 200% (แดง) และสีย้อมเบสิก 2 สี คือ แม็กซิลอน บลู C-R (น้ำเงิน) กับ แม็กซิลอน เรด CR 300% (แดง) ที่ ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้นเท่ากับ 150 มิลลิกรัมต่อ ลิตร

3.3 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับ

นำสารดูดซับไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ขนาคูพรุนและปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย โดยใช้เครื่อง Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET ดูดซับก๊าซ ไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 77.3 เคลวิน -196 องศา เซลเซียส (ธเรศ ศรีสถิต และคณะ, 2546)

3.4 การทดสอบการดูดซับของสารดูดซับ

3.4.1 การหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

ชั่งสารดูดซับปริมาณ 1.0 กรัม เติมน้ำเสีย สังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นสีย้อมรีแอทฟโนวาคอน บลู เริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้เท่ากับ 7 ด้วยสารละลายกรด กลือเข้มข้น 0.1 นอร์มัล หรือสารละลายโซเดียมไฮ-ดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 30 องศา เซลเซียส ดูดตัวอย่างน้ำเสียไปกรองเมื่อเวลาผ่านไป 0, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 และ 240 นาที เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสีย้อมที่เหลือด้วยเครื่องวัดสี UV-VIS spectrometer รุ่น SPECTRONIC EDUCATOR ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (สำหรับสีย้อมรีแอทฟโนวาคอน เรด สีย้อมเบสิก แม็กซิลอน บลู และสีย้อมเบสิกแม็กซิลอน เรด ใช้ค่าความยาวคลื่นที่ 500, 560 และ 490 นาโน เมตร ตามลำดับ ในการอ่านค่าการดูดซับแสง)

3.4.2 การหาปริมาณสารดูดซับที่เหมาะสม

ชั่งสารดูดซับปริมาณ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 2.0 กรัม เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่

มีความเข้มข้นของสีข้อมเริ่มต้นเท่ากับ 150 มิลลิกรัม ต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิตร ปรับพีเอชให้เท่ากับ 7 เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาเท่ากับเวลาที่ เหมาะสม ดูตัวอย่างน้ำเสียไปกรองเพื่อวิเคราะห์หา ความเข้มข้นของสีข้อมที่เหลือ

3.4.3 นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับ (% Adsorption) และไอโซเทอมการดูดซับ

3.5 การคำนวณ

3.5.1 การหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี (% Color removal) แสดงดังสมการที่ 1

$$\% \text{Color removal} = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100 \quad \dots\dots(1)$$

เมื่อ C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสี (mg/L)

C_t = ความเข้มข้นของสีที่เวลา t ใดๆ (mg/L)

3.5.2 ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ แสดงดังสมการที่ 2

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

เมื่อ q_e = ปริมาณสีข้อมที่ถูกดูดซับ / ปริมาณสารดูดซับที่จุดสมดุล (mg/g)

C_e = ความเข้มข้นสีข้อมที่จุดสมดุล (mg/L)

q_m, b = ค่าคงที่การดูดซับ

3.5.3 ไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดลิช แสดงดังสมการที่ 3

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

เมื่อ q_e = ปริมาณสีข้อมที่ถูกดูดซับต่อ ปริมาณสารดูดซับที่จุดสมดุล (mg/g)

C_e = ความเข้มข้นสีข้อมที่จุดสมดุล (mg/L)

n, K_f = ค่าคงที่

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 สารดูดซับที่เตรียมได้มีสมบัติทางกายภาพเปรียบเทียบกับถ่านแกลบดำ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของสารดูดซับ

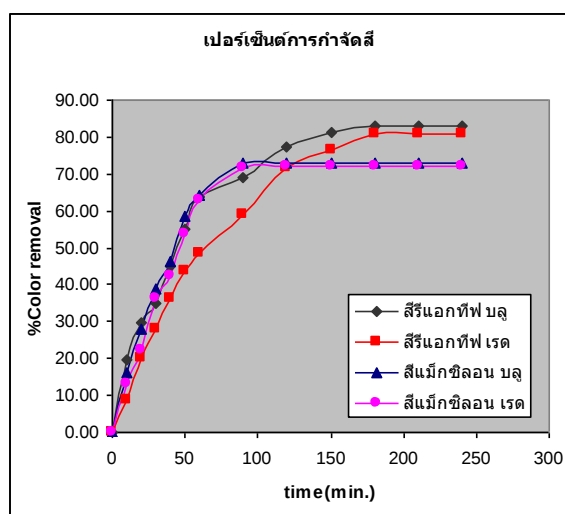
สมบัติ	ถ่านแกลบดำ	ถ่านแกลบดำเผา กระตุ้นที่ 450°C
พื้นที่ผิว (ตร.ม./กรัม)	32.1	36.2
ปริมาตรรูพรุน (ชม.3/กรัม)	0.06	0.06
ขนาดรูพรุน (Å)	24.3	26.7

ถ่านแกลบดำที่เผากระตุ้นแบบอับอากาศที่ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส การเผากระตุ้นทำให้มี พื้นที่ผิวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในระหว่างการเผาถ่านแกลบดำคือ ในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 200 องศาเซลเซียส ความชื้นจะเกิดการระเหย เมื่อเผาต่อที่อุณหภูมิระหว่าง 200-450 องศาเซลเซียส สารระเหยง่ายและทาร์จะถูกกำจัดออกไปจนกระทั่งถึง อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะมีการแตกหักของ รูพรุนจึงน่าจะทำได้โครงสร้างที่มีพื้นที่ผิวและ ขนาดรูพรุนเพิ่มขึ้นซึ่งในการทดลองพบว่าสารดูดซับ ที่เตรียมได้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นไม่มากนักเนื่องจากไม่ได้เผา ที่อุณหภูมิสูงถึง 800°C หรือมากกว่า ซึ่งเป็นอุณหภูมิ ที่มีการแตกหักของรูพรุนและมีการรวมตัวของรูพรุน ใหม่ให้โครงสร้างที่มีความเสถียรและมีความพรุนเพิ่ม ขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 800-900°C (Suzuki et al., 2007) แต่สิ่งที่ได้จากการเผากระตุ้นโดยกรด ฟอสฟอริก คือ สภาพผิวที่เปลี่ยนไป โดยที่พื้นที่ผิวของสารดูดซับจะมีการฟอรัมสารประกอบของฟอสฟอรัสที่ทำให้ผิวมี สภาพเป็นกรดและทำหน้าที่แลกเปลี่ยนประจุบวกกับ

ไอออนในสารละลาย (Puziy et al., 2001) หรือทำ
หน้าที่ดูดซับสีที่มีประจุต่างกันได้

4.2 การหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี (%Color removal)

การหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี ได้ผลการ
ทดลองแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ประสิทธิภาพการดูดซับสิริแอกทีฟและสีเบสิกของสาร
ดูดซับที่เตรียมจากถั่วแกลบคั่วเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 450°C

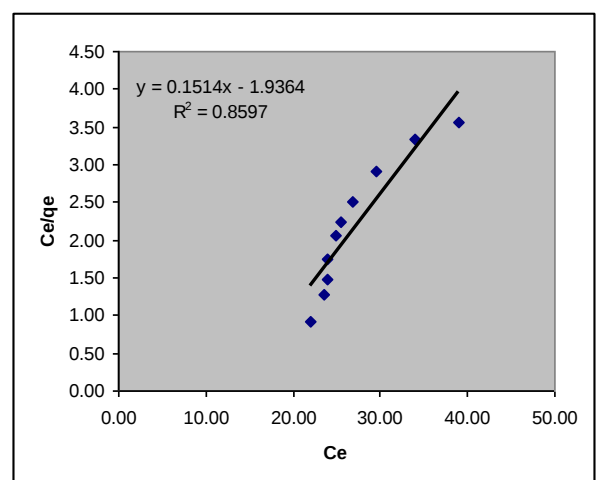
พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสิริแอกทีฟ
จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาเริ่มต้นจนถึง 180
นาที ทั้งสิริแอกทีฟโนวาคอน บลู และ สีโนวาคอน
เรด สำหรับสีเบสิกการดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
ในช่วง 90 นาทีแรก ทั้งสีเบสิกแม็กซิลอน บลู และสี
แม็กซิลอน เรด เนื่องจากในตอนแรกไอออนของสีจะ
ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวด้านนอกของสารดูดซับ อัตราการ
ดูดซับซึ่งหาจากความชันของกราฟในช่วงแรกนี้มีค่า
มากหมายถึงการดูดซับเป็นไปอย่างรวดเร็วและมี
ประสิทธิภาพสูง เมื่อการดูดซับที่ผิวด้านนอกถึงจุด
อิ่มตัวไอออนของสีจึงแพร่เข้าไปในรูพรุนและถูกดูด
ซับที่ผิวของรูพรุนด้านใน (Pehlivan and Arslan,
2007) ในการทดลองเวลาที่ทำให้ประสิทธิภาพในการ
ดูดซับสูงสุดและระบบเข้าสู่สมดุลของสีโนวาคอน

บลู และ โนวาคอน เรด คือ 180 นาทีสามารถกำจัดสี
ได้สูงสุดเท่ากับ 83.00 และ 80.93% ตามลำดับ การ
ดูดซับสิริแอกทีฟซึ่งเป็นสีที่ละลายน้ำแล้วให้ประจุลบ
เกิดจากพันธะระหว่างพื้นผิวของสารดูดที่มีสภาพกรด
และไอออนของสีที่มีประจุลบ ขณะที่เวลาในการดูดซับ
เกิดสูงสุดสำหรับสีแม็กซิลอน บลู และ แม็กซิลอน
เรด คือ 90 นาที กำจัดสีได้สูงสุดเท่ากับ 73.13%
และ 72.07% ตามลำดับ การดูดซับสีเบสิกซึ่งเป็น
สีที่ละลายน้ำแล้วให้ประจุบวกเกิดจากการแลกเปลี่ยน
ของไอออนบวกบนผิวของสารดูดซับกับไอออนของสี
เบสิกแล้วทำให้ไอออนของสีถูกเกาะติดที่ผิวของสาร
ดูดซับ

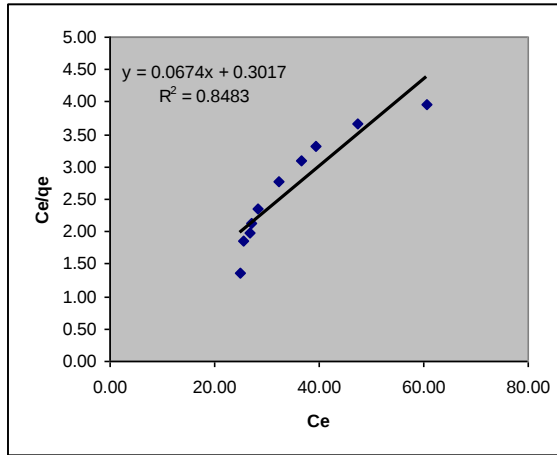
4.3 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสี
ย้อมรีแอกทีฟและสีย้อมเบสิก โดยเลือกใช้สมการ
ไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Hussain et al., 2007) และ
ไอโซ-เทอมของฟรุนดลิช (Hameed, 2007)

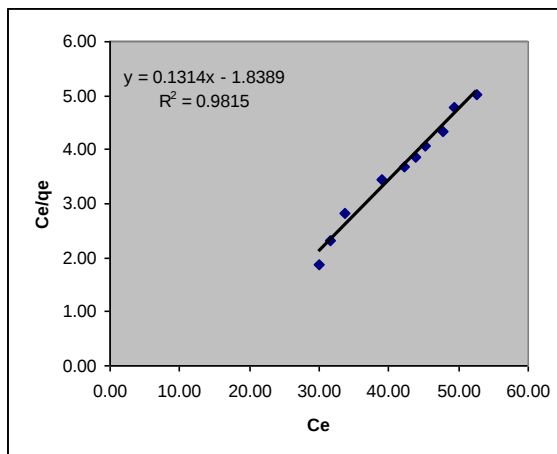
4.3.1 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์
ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_e/q_e และ C_e ของสีย้อม
โนวาคอน บลู โนวาคอน เรด แม็กซิลอน บลู
และแม็กซิลอน เรด แสดงดังรูปที่ 2 - รูปที่ 5



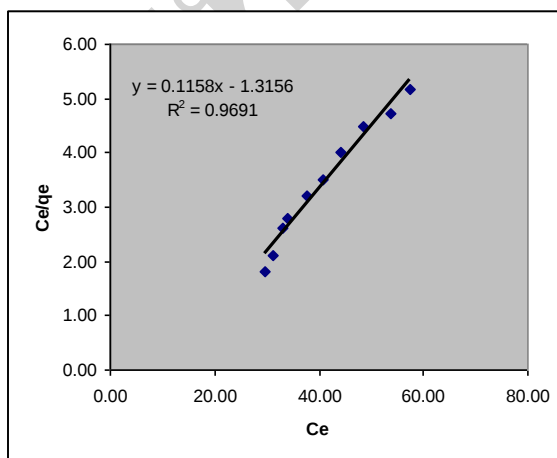
รูปที่ 2 ไอโซเทอมแลงเมียร์ของการดูดซับสีย้อมโนวาคอน บลู



รูปที่ 3 ไอโซเทอมแลงเมียร์ของการดูดซับสีย้อมโนวาคอน เรด



รูปที่ 4 ไอโซเทอมแลงเมียร์ของการดูดซับสีย้อมเม็กซีลอน บลู

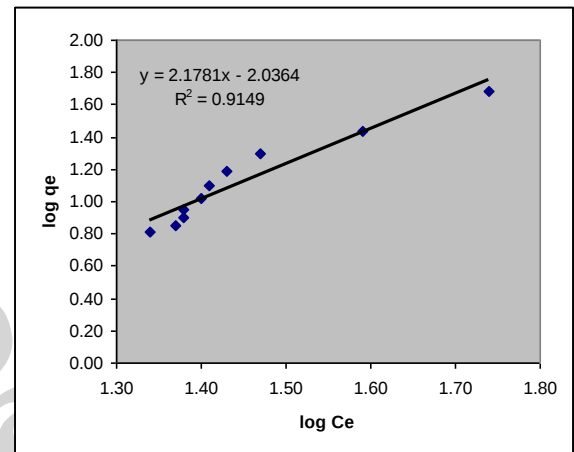


รูปที่ 5 ไอโซเทอมแลงเมียร์ของการดูดซับสีย้อมเม็กซีลอน

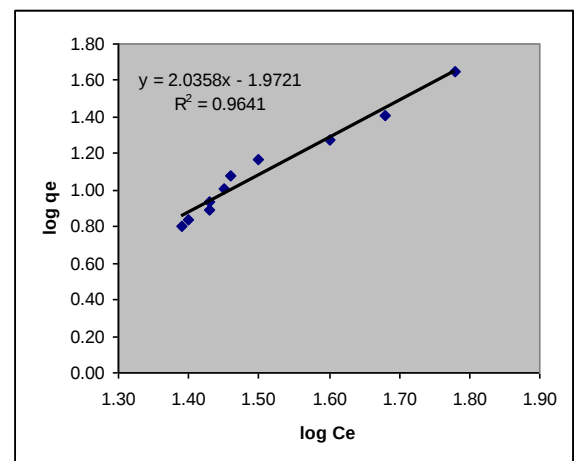
เรด

4.3.2 ไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนดิช

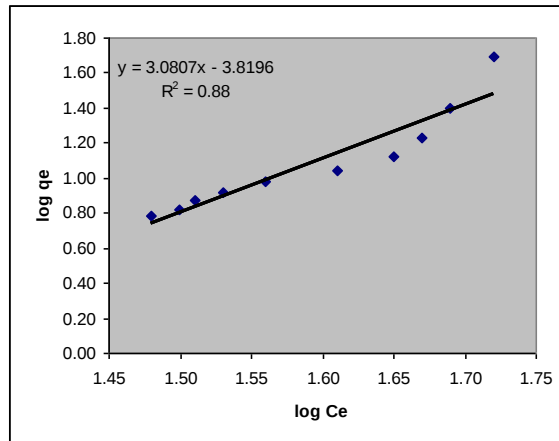
ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(q_e)$ กับ $\log(C_e)$ ของสีย้อมโนวาคอน บลู โนวาคอน เรด เม็กซีลอน บลู และเม็กซีลอน เรด แสดงดังรูปที่ 6 - รูปที่ 9



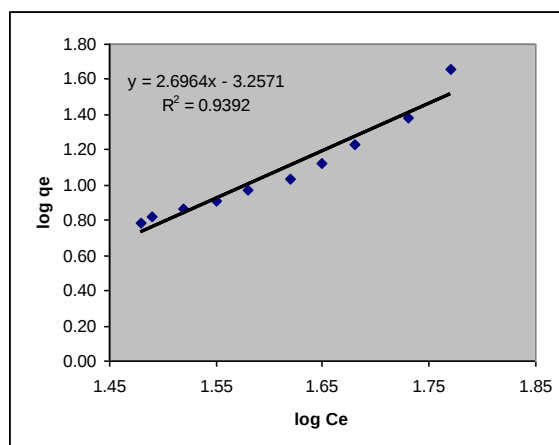
รูปที่ 6 ไอโซเทอมฟรอนดิชของการดูดซับสีย้อมโนวาคอน บลู



รูปที่ 7 ไอโซเทอมฟรอนดิชของการดูดซับสีย้อมโนวาคอน เรด



รูปที่ 8 ไอโซเทอมฟรอนดิชของการดูดซับสี่ไอโอดีนแมกซิลอน บลู



รูปที่ 9 ไอโซเทอมฟรอนดิชของการดูดซับสี่ไอโอดีนแมกซิลอน เรด

เมื่อเปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรอนดิชของสี่ไอโอดีนทั้ง 4 สี ตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R^2) คำนวณค่าการดูดซับสูงสุดและค่าคงที่การดูดซับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า พารามิเตอร์ของแบบจำลองการดูดซับ และค่า R^2 จากรูปที่ 2 – รูปที่ 9

สี*	พารามิเตอร์ของแบบจำลอง				R^2	
	แลงเมียร์		ฟรอนดิช		แลงเมียร์	ฟรอนดิช
	b (L/mg)	q_m (mg/g)	K_F (mg/g)	n		
NB	-0.0781	6.6050	0.0092	0.4591	0.8597	0.9149
NR	0.2234	14.8368	0.0107	0.4912	0.8483	0.9641
MB	-0.0715	7.6104	0.0002	0.3246	0.9815	0.8800
MR	-0.0880	8.6356	0.0006	0.3709	0.9691	0.9392

* NB หมายถึง สีโนวาคอน บลู

NR หมายถึง สีโนวาคอน เรด

MB หมายถึง สีแม็กซิลอน บลู

MR หมายถึง สีแม็กซิลอน เรด

พิจารณาค่า R^2 ของการดูดซับตามสมการของแลงเมียร์และฟรอนดิช เพื่อนำมาใช้คำนวณหาความสามารถในการดูดซับสูงสุด ได้ผลดังนี้

- ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของสี่ไอโอดีนที่ฟโนวาคอน บลู และโนวาคอน เรด เป็นไปตามไอโซเทอมของฟรอนดิช จากจุดตัดบนแกน Y คำนวณค่า K_F ของสี่ไอโอดีนที่ฟโนวาคอน บลู และโนวาคอน เรด ได้เท่ากับ 0.0092 และ 0.0107 มิลลิกรัมต่อกรัม

- ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของสี่ไอโอดีนที่แม็กซิลอน บลู และแม็กซิลอน เรด เป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์เพื่อหาค่า $1/q_m$ จากความชันแล้วคำนวณเป็นค่า q_m ของสี่ไอโอดีนที่แม็กซิลอน บลู และแม็กซิลอน เรด เท่ากับ 7.6104 และ 8.6356 มิลลิกรัมต่อกรัม

แต่เนื่องจากค่า $1/n$ ตามสมการฟรอนดิชที่ได้มีค่า 3.0807 และ 2.6961 ซึ่งมีค่าไม่ใกล้เคียงหรือ

เท่ากับ 1 สมการแลงเมียร์จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้อธิบายผลการทดลอง

5. บทสรุป

1. สารดูดซับที่เตรียมจากถั่วแกลบดำโดยแยกซิลิกาออกและเผากระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ได้ค่าพื้นที่เฉลี่ยเท่ากับ 36.2 ตารางเมตรต่อกรัม มีปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย 0.06 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 26.7 อังสตรอม

2. สารดูดซับที่เตรียมได้ใช้ดูดซับสีของรีแอกทีฟและสีของเบสิกที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณสารดูดซับ 1.0 กรัม พีเอชเท่ากับ 7 พบว่าเวลาในการดูดซับสีรีแอกทีฟโนวาคอน บลู และ โนวาคอน เรด มีค่าเท่ากับ 180 นาที มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด 83.00 และ 80.93% ส่วนเวลาในการดูดซับสีเบสิกแม็กซิลอน บลู และ แม็กซิลอน เรด เท่ากับ 90 นาที ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 73.13% และ 72.07% ตามลำดับ

3. ไอโซเทอมการดูดซับของสีรีแอกทีฟโนวาคอน บลู และ โนวาคอน เรด เป็นไปตามไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดลิช มีค่าการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 0.0092 และ 0.0107 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับไอโซเทอมการดูดซับของสีเบสิกแม็กซิลอน บลู และ แม็กซิลอน เรดไม่เป็นไปตามไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

6. เอกสารอ้างอิง

ชเรศ ศรีสถิต และคณะ. (2546). ประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากข้าวเปลือกของโรงงานน้ำตาลขึ้นในการกำจัดตะกั่วและ

ปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์. วารสารวิจัยสถานะแวดล้อม 25: 1-13.

สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว และคณะ. (2552). การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าด้วยโอโซน. การประชุมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 19. เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท กาญจนบุรี.

สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. (2542). คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม. กรมโรงงานอุตสาหกรรม สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม.

สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ. (2525). การกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้าโดยใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล. บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โสภา ชินเวชกิจวานิชย์. (2540). การลดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้อากาศด้วยระบบยูเอ-เอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Hameed, B.H., Din, A.T.M., and Ahmad, A.L. (2007). Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: Kinetics and equilibrium studies. Journal of Hazardous Materials 141 : 819-825.

Hussain, S., Aziz, H. A., Isa, M. H., Adlan, M. N. and Asari, F.A.H. (2007). Physico-chemical method for ammonia removal from synthetic wastewater using limestone and

GAC in batch and column studies.

Bioresource Technology 98 : 874-880.

Pehlivan, E. and Arslan, G. (2007). Removal of metal ions using lignite in aqueous solution : Low cost biosorbents. Fuel Processing Technology 88: 99-106.

Puziy A.M.; Poddubnaya O.I.; Martnez-Alonso A.; Suarez-Garcia F.; Tascon J.M.D. (2002). Synthetic carbons activated with phosphoric acid. Carbon 40: 1493-1505.

Suzuki, R.M., Andrade, A.D., Sousa, J.C. and Rollemberg, M.C. (2007). Preparation and characterization of activated carbon from rice bran. Bioresource Technology 98: 1985-1991.