

การดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตโดยเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต**
Adsorption of Methyl Violet Dye by Chitosan Sodium Dodecyl Sulfate Resin

มัลลิกา โรจน์คงทรัพย์ หนิง อามาน และโกวิท ปิยะมั่งคณา*

ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตโดยใช้เรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเป็นตัวดูดซับทำการศึกษาผลความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลไวโอเลตจาก 20.0 - 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการทดลองแบบเบดซ์ พบว่า ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตมีค่าเท่ากับ 53.3 - 158.9 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นสีย้อมเมทิลไวโอเลตมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น ไอโซเทอมการดูดซับศึกษาจากสมการแลงเมียร์และฟรุนดลิช พบว่า สอดคล้องกับสมการแลงเมียร์ การออกแบบสำหรับกำจัดสีย้อมเมทิลไวโอเลตร้อยละ 100 เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเมทิลไวโอเลต 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร พบว่า ต้องใช้เรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ปริมาณ 0.63 กรัม

คำสำคัญ: การดูดซับ สีย้อม เมทิลไวโอเลต เรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต

* ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

Adsorption of Methyl Violet Dye by Chitosan Sodium Dodecyl Sulfate Resin

**งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

e-mail: kwt@kmutnb.ac.th

Abstract

The chitosan sodium dodecyl sulfate resin was used as an adsorbent for removal of methyl violet dye. The effect of initial methyl violet from 20.0 -100.0 mg/L was thoroughly investigated in batch adsorption system. The adsorption capacity of methyl violet by chitosan sodium dodecyl sulfate resin was 53.3 - 158.9 mg/g, respectively. The Langmuir and Freundlich adsorption isotherm models were applied to describe the methyl violet uptake, which could be described by Langmuir adsorption model onto chitosan sodium dodecyl sulfate resin. Batch design for removal of methyl violet amount 100 % when initial concentration of methyl violet at 100.0 mg/L to achieve wastewater 1 L was 0.63 g for chitosan sodium dodecyl sulfate resin.

Keywords: Adsorption, Dye, Methyl violet, Chitosan sodium dodecyl sulfate resin

บทนำ

ตลอด 20 ปีที่ผ่านมาสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง มีการพัฒนาทางด้านการกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มปริมาณสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น อุตสาหกรรมสิ่งทอมีการใช้น้ำสะอาดในทุกขั้นตอน ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การย้อมและการฟอกย้อม ในการฟอกย้อมจำเป็นต้องใช้สีย้อม (Dye) เพื่อให้สิ่งทอมีสีสันสวยงาม สีย้อมส่วนใหญ่เป็นสารเคมีสังเคราะห์ มีทั้งชนิดที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ ซึ่งสีย้อมที่ใช้ในการฟอกย้อมมีหลายชนิด เช่น สีรีแอกทีฟ สีเอซิด สีเบสิก สีไดเรกต์ สีแวต สีดิสเพอร์ส เป็นต้น (Shah, 1994) สารมลพิษในน้ำเสียจากการฟอกย้อมจะเป็นสีที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำซึ่งมาจากกระบวนการย้อมสี (Dyeing) และการตกแต่งสำเร็จ (Finishing) เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการฟอกย้อมจึงเป็นขั้นตอนที่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำเป็นอย่างมาก ทั้งในด้านปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นและวิธีการในการบำบัดสารมลพิษ

สีย้อมใช้ในการย้อมสิ่งทอเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด เกิดสีอยู่บนหรือในผิวหน้าของสิ่งทอ จากนั้นเกิดการแพร่และแทรกซึมเข้าสู่ภายในโครงสร้างของสิ่งทอเพื่อทำให้เกิดสีขึ้นมา เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการฟอกย้อม โมเลกุลของสีย้อมจะซึมเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใย เกิดพันธะไอออนิก (Ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กับเส้นใย สีจากการฟอกย้อมเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมสามารถดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร ซึ่งตาของมนุษย์สามารถรับภาพได้ โดยสีย้อมที่มีโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กันไป จึงทำให้โมเลกุลสีย้อมต่างโทนสีกันแสดงสีให้เราเห็นออกมาแตกต่างกันไป

โกวิทย์ ปิยะมั่งคลา (2555) และปารินดา สุขสบาย (2556) อธิบายข้อดีของการดูดซับ เหมาะสมสำหรับนำมาใช้งานในการกำจัดสีจากน้ำเสียฟอกย้อม ได้แก่ ไม่ต้องมีการเติมสารเคมีลงไปในการใช้เงินลงทุนน้อย ใช้เวลาในการบำบัดและใช้สถานที่ไม่มากนัก นอกจากนั้นสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ และนำตัวดูดซับกลับมาใช้งานใหม่ได้ ไคโตซาน (Chitosan) เป็นอนุพันธ์ของไคติน (Chitin) ที่ได้จากปฏิกิริยา Deacetylation ของไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น โดยหมู่อะซิตามิโด ($-NHCOCH_3$) เปลี่ยนไปเป็นหมู่เอมีโน ($-NH_2$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ของ D-glucosamine (2-amino-2-deoxy-D-glucose) โดยมีชื่อทางเคมี Poly β -(1 $\rightarrow$ 4)-2-amino-deoxy-D-glucose ไคโตซานสามารถละลายในละลายอินทรีย์เจือจาง ได้แก่ กรดฟอร์มิกหรือกรดแอซิติก นอกจากนั้นยังละลายได้เล็กน้อยในกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้มีการใช้ประโยชน์จากไคโตซานได้มากกว่าไคติน (Kumar, 2000)

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตโดยใช้เรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตเป็นตัวดูดซับ ทำการศึกษาลักษณะการดูดซับเริ่มต้นและระยะเวลาการดูดซับ นอกจากนั้นยังทำการศึกษาไอโซเทอม และนำผลจากไอโซเทอมมาใช้ในการออกแบบการดูดซับ

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

สารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เตรียมขึ้นโดยนำเกล็ดไคโตซานปริมาณ 2.0 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นเติมสารละลายกรดแอซิติกความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปในบีกเกอร์ จากนั้นนำมาปั่นด้วยเครื่องกวน (Motor stirrer) ที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้สารละลายไคโตซาน

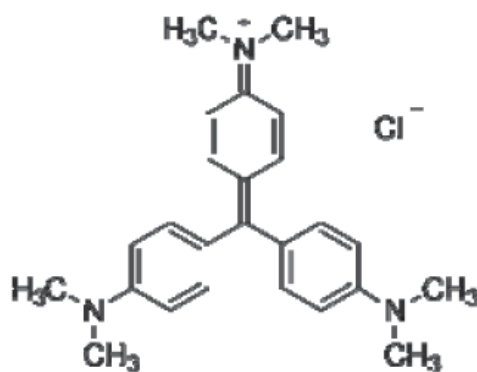
การเตรียมเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตทำโดย นำเครื่องสูบล้างสารเคมีดูดสารละลายไคโตซานผ่านปลายเข็มเบอร์ 18 ให้หยดลงในสารละลายโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl Sulfate : SDS) ความเข้มข้นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ได้เม็ดบีดไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต ปล่อยให้แห้ง 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน 2-3 ครั้ง นำเม็ดบีดไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เวลา 3 วัน ได้เป็น เรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (CSDSR) ที่ใช้เป็นตัวดูดซับ

ผลความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลไวโอเลต สูตรโครงสร้างของสีย้อมเมทิลไวโอเลต ดังแสดงในภาพที่ 1 การทดลองเริ่มจากชั่งเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตปริมาณ 0.075 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นเติมสีย้อมเมทิลไวโอเลต ความเข้มข้น 20.0, 40.0, 60.0,

80.0 และ 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในขวดรูปชมพู่ นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบหมุนวน ด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 90 นาที โดยช่วงแรกเก็บตัวอย่างน้ำสีย้อมเมทิลไวโอเลตทุกๆ 3 นาทีเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำสีย้อมเมทิลไวโอเลตทุกๆ 10 นาที จนถึงเวลา 60 นาที และช่วงสุดท้ายเก็บตัวอย่างน้ำสีย้อมเมทิลไวโอเลตทุกๆ 15 นาที จนกระทั่งครบ 90 นาที จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่ไม่ได้เกิดการดูดซับด้วยเครื่องสเปกโตรนิค ที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาความสามารถในการดูดซับตามสมการที่ 1

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) V}{W} \quad (1)$$

เมื่อ q_t หมายถึงความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม) C_0 หมายถึงความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลไวโอเลต (มิลลิกรัมต่อลิตร) C_t หมายถึงความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร) V หมายถึงปริมาตรของสีย้อมเมทิลไวโอเลต (ลิตร) และ W หมายถึงปริมาณเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (กรัม)



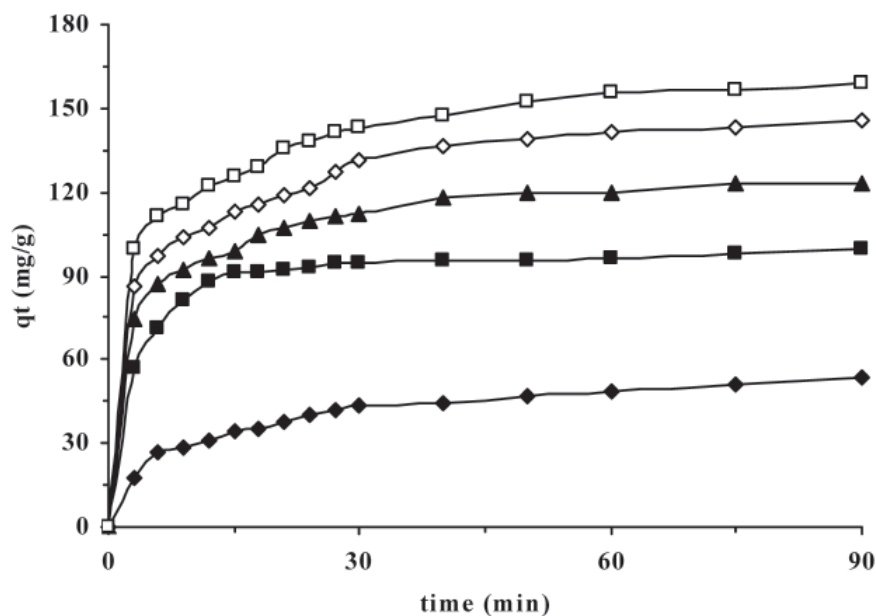
ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างสีย้อมเมทิลไวโอเลต (Methyl violet, $C_{25}H_{30}N_3Cl$)

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับ นำเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ปริมาณ 0.2 กรัม มา Preheat ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ขนาดรูพรุนและปริมาตรรูพรุนของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ด้วยเครื่อง BEL JAPAN รุ่น Belsorp-mini

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลปริมาตรรูพรุน ขนาดรูพรุนและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ การวิเคราะห์เรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต พบว่า ปริมาตรรูพรุน ขนาดรูพรุนและพื้นที่ผิวมีค่าเท่ากับ 2.77×10^{-3} ลูกบาศก์เมตร ต่อกรัม 50.88 นาโนเมตร และ 2.18 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) สามารถจำแนกออกเป็น 3 ขนาดดังนี้ โพรงเล็ก (Micropore) มีขนาดเล็กกว่า 2 นาโนเมตร โพรงกลาง (Mesopore) มีขนาดอยู่ระหว่าง 2 - 50 นาโนเมตร และโพรงใหญ่ (Macropore) มีขนาดมากกว่า 50 นาโนเมตร (เดชา ฉัตรศิริเวช, 2552) ดังนั้น ขนาดรูพรุนของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ที่เตรียมได้จึงจัดอยู่ในขนาดโพรงใหญ่

ผลความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเมทิลไวโอเลต ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.0, 40.0, 60.0, 80.0 และ 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตผล การทดลองดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่า ในช่วง 9 นาทีแรก ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตมีค่าเท่ากับ 28.9, 81.5, 92.2, 103.8 และ 115.6 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เริ่มเข้าสู่สมดุลการดูดซับที่เวลา 30 นาที มีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 43.3, 94.4, 112.2, 131.4 และ 143.3 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในขณะที่สมดุลการดูดซับเกิดขึ้นที่เวลา 90 นาที มีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 53.3, 100.0, 123.3, 145.8 และ 158.9 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลไวโอเลตจาก 20.0 - 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ความสามารถการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดความแตกต่างของสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่ผิวของตัวดูดซับกับในสารละลายเพิ่มสูงขึ้นเกิดแรงขับเคลื่อน (Driving force) ที่มากขึ้น ดังนั้น ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตจึงเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ El-khaiary (2007) ที่ใช้ผักตบชวาในการดูดซับสีย้อมเมทิลวินบลู



ภาพที่ 2 ความสามารถของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต
ความเข้มข้นเริ่มต้น: ◆ 20.0, ■ 40.0, ▲ 60.0, ◇ 80.0 และ □ 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต กับความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่เหลือที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอมที่เหมาะสมนำมาใช้อธิบายลักษณะการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

Benfield และคณะ (1982) นำเสนอไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และสมการเส้นตรงการดูดซับแบบแลงเมียร์สำหรับสารละลาย เขียนได้ดังสมการที่ 2 และสมการที่ 3 ตามลำดับ

$$q_{e,cal} = \frac{a_{m,L} C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

$$\frac{C_e}{q_{e,cal}} = \frac{K_L}{a_{m,L}} C_e + \frac{1}{a_{m,L}} \quad (3)$$

เมื่อ $q_{e,cal}$ หมายถึงความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุลที่ได้จากการคำนวณ (มิลลิกรัมต่อกรัม) $q_{e,exp}$ หมายถึงความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุลที่ได้จากการทดลอง (มิลลิกรัมต่อกรัม) $a_{m,L}$ หมายถึงค่าคงที่แบบแลงเมียร์ (ลิตรต่อกรัม) K_L หมายถึงค่าคงที่การดูดซับแบบแลงเมียร์ (ลิตรต่อมิลลิกรัม) และ C_e หมายถึงความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

นำข้อมูลผลการทดลองมาเขียนกราฟระหว่าง $C_e/q_{e,exp}$ และ C_e ตามสมการที่ 3 จะได้กราฟเส้นตรง ที่มีค่าความชันเท่ากับ $K_L/a_{m,L}$ และจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ $1/a_{m,L}$ ดังแสดงในภาพที่ 3 (a)

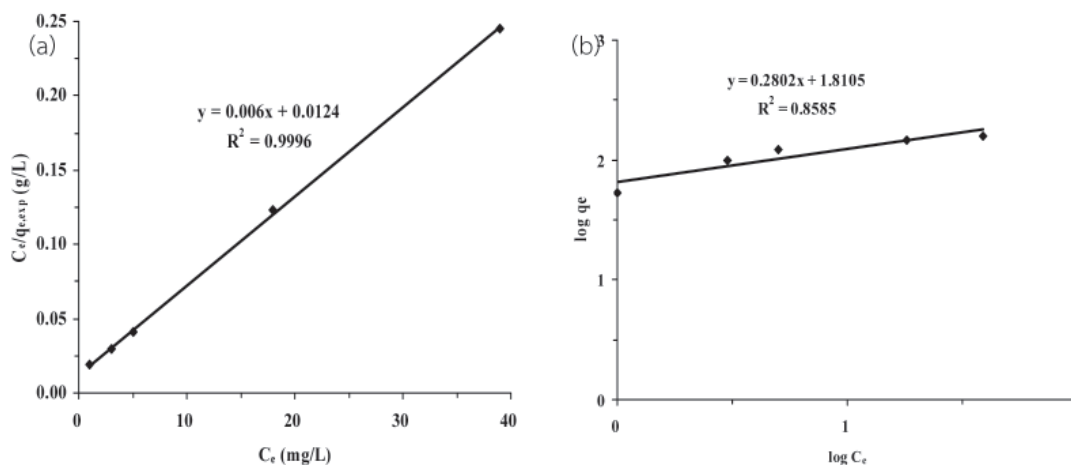
ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชและสมการเส้นตรงการดูดซับแบบฟรุนดลิช เขียนได้ดังสมการที่ 4 และสมการที่ 5 ตามลำดับ

$$q_{e,cal} = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

$$\log q_{e,exp} = 1/n \log C_e + \log K_F \quad (5)$$

เมื่อ K_F หมายถึงค่าคงที่ฟรุนดลิช (มิลลิกรัมต่อกรัม) (ลิตรต่อมิลลิกรัม) $^{1/n}$ และ n หมายถึงค่าคงที่ของฟรุนดลิช อธิบายถึงความเข้มข้นของการดูดซับ (ไม่มีหน่วย)

นำข้อมูลผลการทดลองมาเขียนกราฟระหว่าง $\log q_{e,exp}$ และ C_e ตามสมการที่ 5 ได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ $1/n$ และจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ $\log K_F$ ดังแสดงในภาพที่ 3 (b)



ภาพที่ 3 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต:

(a) แลงเมียร์ และ (b) ฟรุนดลิช

ผลการศึกษาไอโซเทอมจากสมการแลงเมียร์และฟรุนดิชของการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตโดยเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตมีค่า $a_{m,L}$, K_L , $1/n$, K_F และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของไอโซเทอมทั้ง 2 แบบ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ไอโซเทอมการดูดซับจากสมการแลงเมียร์และฟรุนดิชของการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตโดยใช้เรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

Concentration (mg/L)	$q_{e, \text{exp}}$	Langmuir					Freundlich				
		$a_{m,L}$	K_L	R^2	χ^2	$q_{e, \text{cal}}$	K_F	n	R^2	χ^2	$q_{e, \text{cal}}$
20.0	53.3					54.4					64.6
40.0	100.0					98.7					84.9
60.0	123.3	80.65	0.484	0.9996	0.349	64.64	3.57	0.8585	2.450	117.9	101.5
80.0	145.8					149.5					145.3
100.0	158.9					158.3					180.4

ไอโซเทอมของการดูดซับเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่า สอดคล้องกับสมการแลงเมียร์มากกว่าสมการฟรุนดิช Kenned Oubagaranadin และคณะ (2007) อธิบายถึงการพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียงอย่างเดียว ในการอธิบายไอโซเทอมของการดูดซับอาจมีความผิดพลาดเนื่องจากสมการเส้นตรงมีการจำแนกได้ยาก จึงควรใช้สมการไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear) ร่วมด้วยในการพิจารณาไอโซเทอมของการดูดซับ

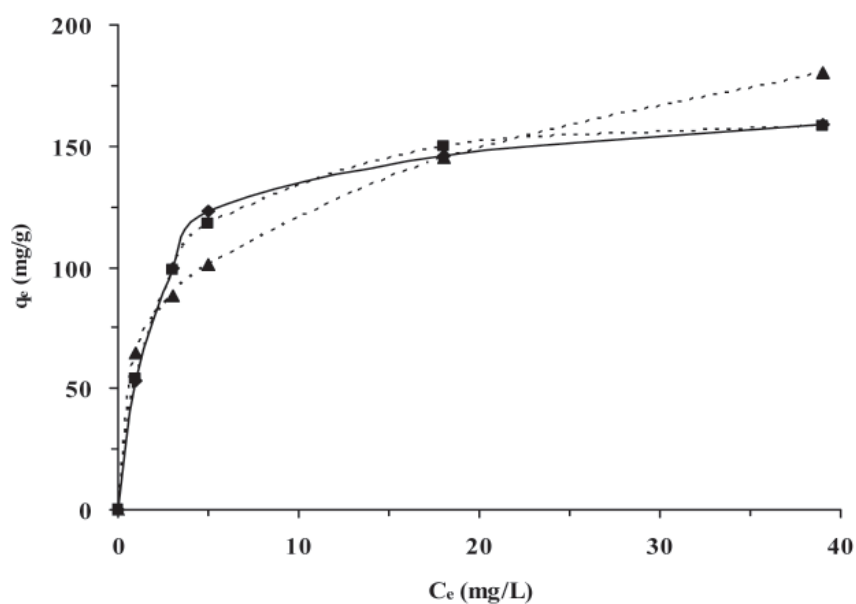
ความถูกต้องของไอโซเทอมเมื่อพิจารณาจาก การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับที่ได้จากการทดลองและการคำนวณและค่า Chi-square (χ^2) โดยค่า Chi-square คำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$\chi^2 = \sum \left(\frac{(q_{e,\text{exp}} - q_{e,\text{cal}})^2}{q_{e,\text{exp}}} \right) \quad (6)$$

พิจารณาผลการคำนวณความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.0, 40.0, 60.0, 80.0 และ 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ได้จากสมการแลงเมียร์มีค่าเท่ากับ 54.4, 98.7, 117.9, 149.5 และ 158.3 มิลลิกรัมต่อกรัม มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 53.3, 100.0, 123.3, 145.8 และ 158.9 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับมากกว่าสมการฟรุนดิชซึ่งมีค่าเท่ากับ 64.6, 84.9, 101.5, 145.3 และ 180.4 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

นอกจากนั้นผลจากค่า Chi-square พบว่า สมการแลงเมียร์คำนวณได้เท่ากับ 0.349 น้อยกว่าสมการฟรุนดลิชซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 2.450 ดังนั้น จึงลงความเห็นได้ว่า การดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต มีไอโซเทอมสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์ อธิบายได้ว่า การดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่อยู่บนพื้นผิวของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตเกิดได้หนึ่งชั้น (Monolayer) ผลของการทำนายความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดลิช แสดงในภาพที่ 4 Wan Ngah และคณะ (2004) อธิบายขั้นตอนการดูดซับที่เกิดขึ้นต่อเนื่องระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีลำดับดังนี้ การแพร่ของตัวถูกดูดซับผ่านชั้นของเหลวไปสู่ผิวภายนอกตัวดูดซับ หลังจากนั้นตัวถูกดูดซับจึงแพร่เข้าไปภายในรูพรุนตัวดูดซับ และลำดับสุดท้ายเป็นการดูดซับของตัวถูกดูดซับภายในรูพรุนตัวดูดซับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตจากตัวดูดซับหลายชนิดสำหรับงานวิจัยที่ได้มีการดำเนินการมาแล้วสรุปไว้ในตารางที่ 2



ภาพที่ 4 ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต: ◆ ผลการทดลอง ■ สมการแลงเมียร์และ ▲ สมการฟรุนดลิช

ตารางที่ 2 ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตจากตัวดูดซับหลายชนิด

ตัวดูดซับ	ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/L)	q_e (mg/g)	เอกสารอ้างอิง
Bagasse fly ash	10	7.8	Mall et al. (2006)
Polyacrylamide	110	1011	Rahchamani et al.
CSDSR	100	158.9	(2011) [งานวิจัยนี้]

Lee และ Lin (1999) นำเสนอสมการปริมาณของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตที่ต้องการใช้ในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตต่อปริมาณน้ำเสีย (Modified chitosan resin used rate, MCRUR) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$\text{MCRUR} = \frac{(C_i - C_e)}{q_e(L)} \quad (7)$$

เมื่อ MCRUR หมายถึงปริมาณเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตที่ต้องการใช้ต่อปริมาณน้ำเสียดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต (กรัมต่อลิตร) C_i หมายถึงความเข้มข้นสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่เข้ากระบวนการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร) C_e หมายถึงความเข้มข้นสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่ออกจากกระบวนการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร) และ $q_e(L)$ หมายถึงความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตที่คำนวณได้จากสมการแลงเมียร์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

ปริมาณของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตที่ต้องการใช้สำหรับการดูดซับต่อปริมาณน้ำเสียดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต เมื่อสมการดูดซับสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์ แทนลงในสมการ 7 มีค่าเท่ากับ

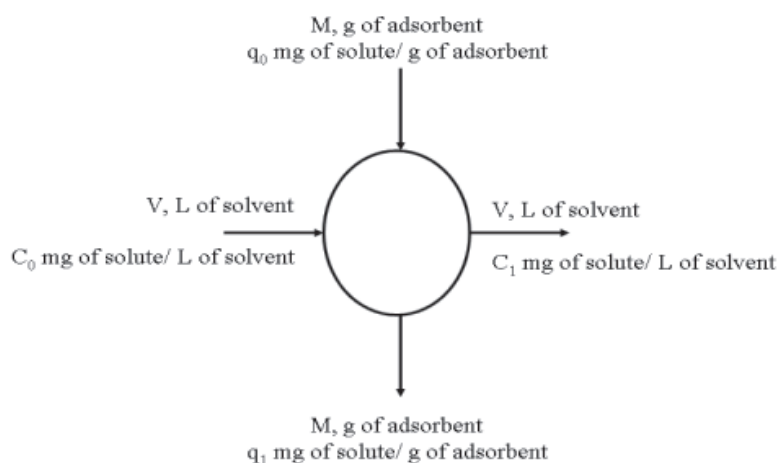
$$\text{MCRUR} = \frac{(C_i - C_e)}{\frac{80.65C_e}{1 + (0.484 C_e)}}$$

การออกแบบระบบการดูดซับแบบเบตซ์จากไอโซเทอมการดูดซับ ข้อมูลการดูดซับที่ได้จาก ไอโซเทอมการดูดซับนำมาใช้งานอีกครั้ง สำหรับทำนายการออกแบบระบบการดูดซับดังแสดงในภาพที่ 5 โดยสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่ต้องการบำบัดให้เป็น V มีปริมาตรเป็นลิตร (L) และความเข้มข้นเริ่มต้นของ สีย้อมเมทิลไวโอเลตที่ต้องการกำจัดมีค่าจาก C_0 ถึง C_1 (มิลลิกรัมต่อลิตร) ให้ M เป็นปริมาณของเรซิน ไคโตซานโซเดียมโดเดคิลซัลเฟต ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตเพิ่มสูงขึ้นจาก q_0 ถึง q_1 (มิลลิกรัมต่อกรัม) กระบวนการดูดซับในช่วงเริ่มต้นใช้ตัวดูดซับใหม่ เป็นผลให้ $q_0 = 0$ ในขณะที่เกิด กระบวนการดูดซับ ตัวถูกดูดซับที่อยู่ในสารละลายเคลื่อนที่มาเกาะอยู่บนผิวหน้าของตัวดูดซับ Vadivelan และ Vasanth Kumar (2005) นำเสนอสมมูลมวลของกระบวนการดูดซับเขียนได้ดังสมการที่ 8

$$V(C_0 - C_1) = M(q_0 - q_1) = Mq_1 \quad (8)$$

เมื่อกระบวนการดูดซับอยู่ในสภาวะสมดุล เขียนได้ดังสมการที่ 9

$$C_1 \rightarrow C_e \text{ and } q_1 \rightarrow q_e \quad (9)$$

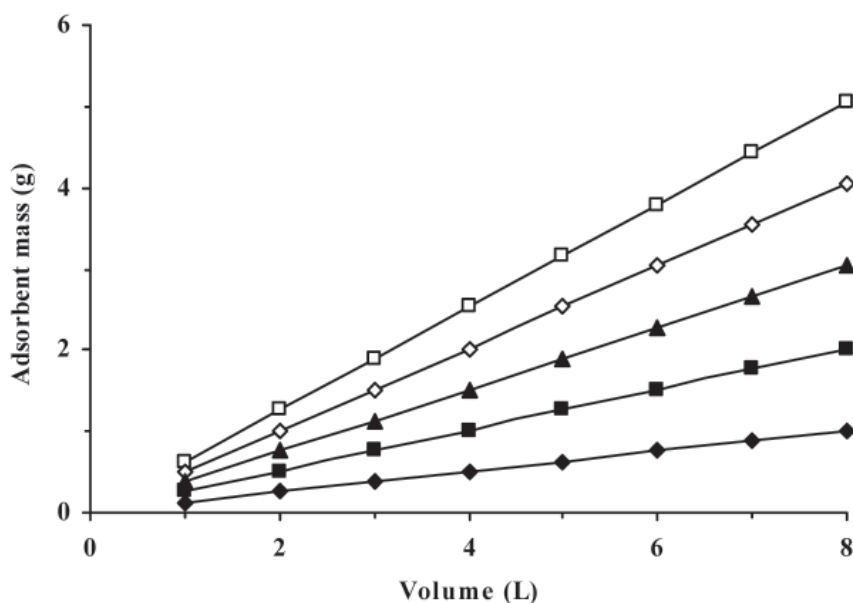


ภาพที่ 5 สมมูลมวลการดูดซับแบบเบตซ์

ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตของเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต พบว่า สอดคล้องกับสมการแลงเมียร์ โดยสมการที่ 8 จัดรูปใหม่และแทน q_1 ด้วยสมการที่ 2 ดังนั้น เขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ 10

$$\frac{M}{V} = \frac{(C_o - C_e)}{q_1} = \frac{(C_o - C_e)}{q_e} = \frac{(C_o - C_e)}{\left[\frac{80.65C_e}{1 + (0.484 C_e)} \right]} \quad (10)$$

สมการที่ 10 นำมาใช้คำนวณหาปริมาณเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต โดยภาพที่ 6 แสดง การกำจัดสีย้อมเมทิลไวโอเลตปริมาตร 1 - 8 ลิตร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการกำจัดสีย้อมเมทิลไวโอเลต ร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 พบว่า การกำจัดสีย้อมเมทิลไวโอเลตปริมาตร 1 ลิตร ใช้เรซิน ไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตปริมาณ 0.13, 0.25, 0.38, 0.51 และ 0.63 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ การกำจัดสีย้อมเมทิลไวโอเลตให้ได้ปริมาตร 8 ลิตร ต้องใช้เรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตปริมาณ 1.01, 2.02, 3.03, 4.04 และ 5.10 กรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ปริมาณเรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตกับปริมาตรสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่ต้องการกำจัด ร้อยละ: ♦ 20, ■ 40, ▲ 60, ◇ 80 และ □ 100

สรุปผลการทดลอง

เรซินไคโตซานโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตมีขนาดรูพรุนเท่ากับ 50.88 นาโนเมตร จัดอยู่ในจำพวก รูพรุนขนาดใหญ่ สมดุลการดูดซับเกิดขึ้นที่เวลา 90 นาที การเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลไวโอเลต จาก 20.0 - 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้นจาก 53.3 - 158.9 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เนื่องจากความแตกต่างสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่ผิวของตัวดูดซับกับ ในสารละลายเพิ่มสูงขึ้น เกิดแรงขับเคลื่อนที่มากขึ้น พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่า Chi-square และ ความสามารถในการดูดซับที่ได้จากการทดลองและได้จากการคำนวณ พบว่า ไอโซเทอมของการดูดซับ สอดคล้องกับสมการแลงเมียร์ การออกแบบการกำจัดสีย้อมเมทิลไวโอเลตให้ได้ร้อยละ 100 และมีปริมาตร 1 ลิตร เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเมทิลไวโอเลต 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ใช้เรซินไคโตซาน โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตปริมาณ 0.63 กรัม

เอกสารอ้างอิง

- โกวิทย์ ปิยะมงคล. (2555). *สมดุล จลนศาสตร์และกลไกการดูดซับ*. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- เดชา ฉัตรศิริเวช. (2552). *กระบวนการดูดซับ*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปารินดา สุขสบาย. (2556). การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตข้อต่อท่อประปาเหล็กด้วยการ ตกตะกอนเคมีร่วมกับการดูดซับ. *วารสารวิจัย มสส สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 5 (1), 1-11.
- Benefield, L.D., Judkins, J.F. & Weand, B.L. (1982). *Process chemistry for water and wastewater treatment*. New Jersey, Prentice Hall.
- El-khaiary, M.I. (2007). Kinetics & mechanism of adsorption of methylene blue from aqueous solution by nitric-acid treated water-hyacinth. *Journal of Hazardous Materials*, 147, 28-36.
- Kenned Oubagaranadi, J.U., Sathyamurihy, N. & Murthy, Z.V.P. (2007). Evaluation of fuller's earth for the adsorption of mercury from aqueous solution: A comparative study with activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 142, 165-174.
- Kumar, M. N. V. R. (2000). A review of chitin and chitosan application. *Reactive & Function Polymers*, 46, 1-27.

- Lee, C.C. & Lin, S.D. (1999). *Handbook of environmental engineering calculations*. New York, McGraw-Hill.
- Mall, I.D., Srivastava, V.C. & Agarwal, N.K. (2006). Removal of orange-G and methyl violet dyes by adsorption onto bagasse fly ash-kinetic study and equilibrium isotherm analysis. *Dyes and Pigments*, 69, 210-223.
- Rahchamani, J., Zavvar Mousavi, H. & Behzad, M. (2011). Adsorption of methyl violet from aqueous solution by polyacrylamide as adsorbent: Isotherm and kinetic studies. *Desalination*, 267, 256-260.
- Shah, K.M. (1994). *Handbook of synthetic dyes and pigments (Volume I Synthetic dyes)*. Bombay: Multi-tech publishing.
- Vadivelan, V. & Vasanth Kumar, K. (2005). Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk. *Journal of Colloid and Interface Science*, 286, 90-100.
- Wan Ngah, W. S., Kamari, A. & Koay, Y. J. (2004). Equilibrium and kinetics studies of adsorption of copper (II) on chitosan and chitosan/PVA beads. *International Journal of Biological Macromolecules*, 34, 155-161.

คณะผู้เขียน

นางสาวมัลลิกา โรจน์คงทรัพย์

นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
e-mail: mook_nul@hotmail.com

นางสาวหทัย อามาน

นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
e-mail: jasmine19543@gmail.com

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โกวิทย์ ปิยะมงคล

ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
e-mail: kwt@kmutnb.ac.th