



การดูดซับเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน
Adsorption of hexavalent chromium using *Eichhornia crassipes*
modified with chitosan

มยุริน ชัยรณ¹ และปรีชา ปัญญา²
Mayurin Chairot¹ and Preecha Panya²

¹นักศึกษาโปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
²รองศาสตราจารย์ประจำโปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทคัดย่อ

การศึกษาการดูดซับเฮกซะวาเลนต์โครเมียมหรือ โครเมียม (VI) จากสารละลายโดยใช้ผักตบชวา (EC) และผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs) เริ่มจากศึกษาพื้นที่ผิวของผักตบชวาและผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน พบว่า ผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานมีพื้นที่ผิวสูงกว่าที่ไม่ได้ปรับปรุง จากนั้นศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ตัวดูดซับทั้งสองชนิดโดยใช้การทดลองแบบกะ พบว่า ปริมาณการดูดซับเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานมีความสามารถในการดูดซับเฮกซะวาเลนต์โครเมียมสูงกว่าเมื่อเทียบกับผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับปรุง เนื่องจากผักตบชวาที่ปรับปรุงมีพื้นที่ผิวสูงขึ้น พฤติกรรมการดูดซับของทั้งสองตัวดูดซับเป็นไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิชมากกว่าแบบแลงเมียร์ และพบว่าปริมาณการดูดซับจะคงที่หลังจากเวลา 30 นาที ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับเท่ากับ 3 ทั้งสองตัวดูดซับ

คำสำคัญ : โครเมียม (VI) / ผักตบชวา/ไคโตซาน/ ไอโซเทอร์มการดูดซับ

Abstract

The adsorption processes of hexavalent chromium or Cr (VI) from aqueous solution using water hyacinth, *Eichhornia crassipes* (EC) and a modified *Eichhornia crassipes* with chitosan (EC/Cs) have been investigated. The surface area of these two adsorbents were measured. The results showed that the EC/Cs has a higher surface area compared with the EC. Adsorption isotherm onto the EC or EC/Cs have been investigated in a batch adsorption experiment. It was found that the EC/Cs has a higher Cr(VI) adsorption capability compared with EC due to that the EC/Cs has a higher surface area. The results have shown that the adsorption behavior fit to Freundlich isotherm model better fits the experimental data compared with the Langmuir isotherm for both EC and EC/Cs. After 30 minutes contact time the adsorption capacity was constant, and the optimum pH for both adsorbents was found to be 3.0.

Keywords: hexavalent chromium / water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) / chitosan / adsorption isotherm



ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมเกิดขึ้นมากมายและมีการใช้สารเคมีจำนวนมาก เช่น การนำโครเมียมมาใช้ในทางอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น นำมาผลิตเป็นเคมีภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมย้อมผ้า ฟอกหนังและสี ใช้ทำโลหะผสม ใช้เคลือบโลหะ พลาสติกต่าง ๆ เพื่อป้องกันการฟุกร่อนของโลหะบางชนิด และใช้เป็นส่วนประกอบในรถยนต์ หากโรงงานอุตสาหกรรมปล่อยน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโครเมียมลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จะส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะโครเมียมอยู่ในสถานะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ผิวน้ำและใต้ดิน ซึ่งส่วนใหญ่เกลือของโลหะหนักสามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นเมื่อถูกปล่อยลงแหล่งน้ำธรรมชาติ สัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้นจะสะสมของเสียไว้และถ่ายทอดสู่มนุษย์ได้ และหากได้รับสะสมในระดับที่เกินมาตรฐาน อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อทั้งมนุษย์และสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ (พดาร์ตัน นิลเจียรนัย และ ปิยนันท์ น้อยรอด, 2559)

เฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Hexavalent Chromium, Cr(VI)) เป็นสารอันตรายที่จัดอยู่ในกลุ่มของสารก่อมะเร็งที่ส่งผลกระทบต่อยีน (genotoxic carcinogen) เมื่อได้รับสารดังกล่าวเป็นเวลานานจะมีโอกาสเป็นมะเร็งปอด โครงสร้างดีเอ็นเอถูกทำลายได้ง่ายมากขึ้น นอกจากนี้เฮกซะวาเลนต์โครเมียมยังถูกสั่งห้าม และจำกัดการใช้ให้มีปริมาณลดน้อยลง มีอุตสาหกรรมจำนวนมากยังคงใช้เป็นวัตถุดิบในหลายผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่เฮกซะวาเลนต์โครเมียมจะเกิดการปนเปื้อนในน้ำ ดังนั้นการเผยแพร่ถึงภัยอันตรายจากการปนเปื้อนของเฮกซะวาเลนต์โครเมียม วิธีการป้องกัน นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนโดยทั่วไป (สารานุกรมเสรี, 2561)

ผักตบชวา (Water Hyacinth หรือ Eichhornia crassipes) เป็นพืชที่ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วและสามารถหาได้ง่ายจากแม่น้ำทั่วไป เช่น ผงซักฟอก ปุ๋ย ซึ่งเป็นธาตุอาหารของพืชน้ำโดยเฉพาะกับผักตบชวาเป็นอย่างดี ทำให้ กีดขวางการเดินทางของน้ำ อัตรา การไหลของน้ำจึงลดลง และกีดขวางการระบายน้ำของประตูน้ำ อีกทั้งยังทำให้ระบบนิเวศเสียหายซึ่ง ผักตบชวาสามารถดูดซึมธาตุอาหารที่เป็นตัวการทำให้น้ำเสียแต่เมื่อมีปริมาณมากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เนื่องจากตัวผักตบชวาสามารถดูดซับสารอาหารได้ดีจึงทำให้สิ่งมีชีวิตตายเพราะขาดสารอาหารและทำให้น้ำเน่าเสีย (สารานุกรมเสรี, 2561)

วิธีการดูดซับเป็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารดูดซับ จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการสัมผัสโดยตรงระหว่างสารดูดซับและสารที่ถูกดูดซับซึ่งเป็นวิธีการ ที่ทำได้ง่าย มีประสิทธิภาพและมีต้นทุนต่ำในการกำจัดหรือลดความเป็นพิษของโลหะออกจากสารละลาย สารดูดซับที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรม เช่น ถ่านกัมมันต์ (พดาร์ตัน นิลเจียรนัย และ ปิยนันท์ น้อยรอด, 2559) วัสดุอินทรีย์จากการเกษตร เพื่อนำไปใช้สำหรับกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียภายในโครงสร้างของวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุเพื่อให้วัสดุดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักเพิ่มขึ้นจึงนำมาใช้ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของวัสดุเหลือใช้เหล่านี้ (วนิดา นราวราช และปรีชา ปัญญา, 2560, นุสรา วนาเฉลิมกิจ และปรีชา ปัญญา, 2559)

ไคโตซาน เป็นวัสดุชีวภาพเกิดในธรรมชาติจัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสม โครงสร้างทางเคมีสารไคตินคล้ายคลึงกับเซลลูโลส คือเป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจนติดอยู่ด้วยทำให้มีคุณสมบัติที่โดดเด่น และหลากหลายมีประสิทธิภาพสูงในกิจกรรมชีวภาพ และยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไคโตซานจะละลายได้ดีเมื่อใช้กรดอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย ดังนั้นจึงเป็นสารที่มีความปลอดภัยในการใช้กับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม สารไคโตซานนี้มีลักษณะพิเศษในการนำมาใช้ดูดซับและจับตะกอนต่างๆในสารละลายแล้วนำสารกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งเป็นการหมุนเวียนตามระบบธรรมชาติ (กมลศิริ พันธนิยะ, 2556) เมื่อไม่นานมานี้ Rashid et al. (2019) ได้รายงานการศึกษาการกำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมโดยใช้ออร์แกนิกของผักตบชวาผสมกับไคโตซาน พบว่าสามารถกำจัดโลหะได้ดีกว่าผักตบชวาอย่างเดียว



ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการดูดซับเฮกซะวาเลนต์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน เนื่องจากผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่ขยายพันธุ์ได้ง่ายและหาได้ง่ายในท้องถิ่นและเป็นพืชที่สามารถดูดซับสารอาหารและโลหะหนักได้ จากนั้นนำไคโตซานมาเพิ่มประสิทธิภาพของตัวดูดซับโดยเติมลงในผักตบชวาที่เตรียมได้ จากนั้นนำไปประยุกต์ใช้ศึกษาการดูดซับเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ที่ผลของความเข้มข้นสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ผลของค่าพีเอช และเวลาสัมผัส

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1 เพื่อเตรียมวัสดุดูดซับ หาพื้นที่ผิวและศึกษาหมู่ฟังก์ชันของผักตบชวาและผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน
- 2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ผักตบชวาเปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้รูปแบบวิจัยเชิงทดลอง โดยศึกษาการกำจัดสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียม หรือโครเมียม (VI) ที่เตรียมได้จากโพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) โดยใช้การดูดซับบนผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับปรุง (EC) เปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs) โดยทดลองที่อุณหภูมิ $25 \pm 1^\circ C$

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

สารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมจากโพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) 99 % (A.R) ไคโตซาน (Chitosan) 75% จากบริษัท HiMedia laboratories ประเทศ India สำหรับเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ได้แก่ เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) รุ่น PinAAcle 900F ของบริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น UV-1800 ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น สำหรับเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผักตบชวา ได้แก่ เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR) รุ่น Tracer-100 ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

2. การเตรียมผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยไคโตซาน

1) การเตรียมผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับปรุง (EC) เก็บผักตบชวานำมาล้างด้วยน้ำสะอาด นำมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ $100^\circ C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำผักตบชวาที่แห้งแล้วมาต้มด้วย 2% NaOH ที่อุณหภูมิ $100^\circ C$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง อบแห้งที่อุณหภูมิ $60^\circ C$ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้ตัวดูดซับผักตบชวา (EC)

2) การเตรียมผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs) นำ 2.0 กรัมของไคโตซาน (CS) ละลายใน 500 mL 3% กรดอะซิติก กวนทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เติมผักตบชวา (EC) 10 กรัมลงไป จากนั้นกวนต่ออีก 24 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำกลั่น นำไปอบแห้งจะได้ผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs)

3. การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของผักตบชวากับเทคนิค KBr-disk

1) เตรียมตัวอย่างผักตบชวาที่จะนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ที่อยู่ในสถานะของแข็ง 2) บดตัวอย่าง (ผักตบชวา/ผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานก่อนการดูดซับ/ผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานหลังการดูดซับ) ให้



มีความละเอียดผสมเข้ากับ KBr ในโกร่งบดสาร 3) ใส่ตัวอย่างที่บดแล้วนำไปอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ไว้ 1-2 นาที

4) นำตัวอย่างที่อัดแล้วเข้าเครื่อง FTIR เพื่อวิเคราะห์สเปกตรัม

4. การศึกษาหาพื้นที่ผิวจำเพาะของผกตบชาที่ไม่ได้ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยไคโตซาน

นำผกตบชาที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวโดยวิธีการดูดซับเมทิลีนบลู (ปริชา ปัญญา, 2557)

1) เตรียมสารละลายเมทิลีนบลู เพื่อทำกราฟมาตรฐาน เตรียมที่ความเข้มข้น 5, 10, 20, 30 mg/L

2) เตรียมสารละลายเมทิลีนบลู เพื่อทดสอบการดูดซับบนผกตบชาเตรียมที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 และ 100 mg/L

3) การทดลองการดูดซับเมทิลีนบลูบนผกตบชาชนิดปรับปรุงผิวและไม่ได้ปรับปรุงผิว

3.1) ชั่งผกตบชา 0.1 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในขวด ขนาด 100 ml

3.2) เติมน้ำสารละลายเมทิลีนบลู ที่ความเข้มข้นต่างๆที่เตรียมได้จากข้อ 2) ลงในขวดที่มีผกตบชาอยู่จำนวน 40 ml (ขวดที่ 1 ให้เติมเฉพาะน้ำกลั่น) ปิดฝา แล้วเขย่าด้วย Shaker เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3) เมื่อครบกำหนดเวลาที่เขย่า นำสารละลายทั้งหมด ไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารที่ได้จากการกรอง ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง

3.4) การวัดค่าการดูดกลืนแสงวัดด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 660 nm

3.5) หาปริมาณการดูดซับ สามารถคำนวณโดยใช้สมการ (1)

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{M} \quad (1)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณการดูดซับที่สมดุล (โมลต่อกรัม)

C_0 = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเริ่มต้น

C_{eq} = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล

V = ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ

M = มวลของตัวดูดซับ

สูตรการคำนวณ สำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ดังสมการ (2)

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{qmKL} + \frac{C_e}{qm} \quad (2)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ

q_m = ปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับที่สามารถดูดซับแบบชั้นเดียวต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ

K_L = ค่าคงที่ของการดูดซับแบบแลงเมียร์

C_{eq} = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล

นำค่าที่คำนวณได้ไปเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล (C_{eq}) กับปริมาณของโลหะที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (q_e) โดยที่ค่า r^2 จะต้องมามีค่าเข้าใกล้ 1

4) คำนวณค่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจากไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ ใช้สมการที่ (3) (ปริชา ปัญญา, 2557)

$$S_{MB} = (N_g \times a_{MB} \times N \times 10^{-20})/M \quad (3)$$

เมื่อ S_{MB} = ค่าพื้นที่ผิว (m^2/g)

N_g = จำนวนโมเลกุลของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับชั้นเดียว

a_{MB} = 197.2 \AA^2

N = เลขอาโวกาโดร, 6.02×10^{23} (โมเลกุล)

M = น้ำหนักโมลโมเลกุลของเมทิลีนบลู 373.9 g/mol



5. การศึกษาการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียม

ชั่งผักตบชวา 0.05 กรัม (ทศนิยมสี่ตำแหน่ง) ลงในขวดโพลีเอทิลีน เติมสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมในช่วงความเข้มข้น 0 – 200 mg/L เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่า 150 rpm เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 357.9 nm เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมที่สมดุล แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณการดูดซับโครเมียมจากผักตบชวาโดยใช้สมการ (1) สำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ใช้สมการ (2) และไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิช ใช้สมการ (4) ดังนี้

$$q_{eq} = K_f \cdot C_{eq}^1/n \quad (4)$$

เมื่อ q_{eq} = ปริมาณการดูดซับ

K_f = ค่าคงที่ของการดูดซับแบบฟรุนดิช

n = ค่าคงที่

นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ จะได้ค่า r^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีพฤติกรรมการดูดซับเป็นไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิช

6. การศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีต่อการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียม

ชั่งน้ำหนักผักตบชวา 0.05 กรัม (ทศนิยมสี่ตำแหน่ง) ในขวดโพลีเอทิลีน เติมสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมเข้มข้น 50 mg/L ที่พีเอช 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ลงไปในขวดที่มีผักตบชวาอยู่ ขวดละ 25 mL นำไปเขย่า 150 rpm เป็นเวลา 30 นาที นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 357.9 nm ทดลองซ้ำสามครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย นำค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียม โดยใช้สมการจากกราฟมาตรฐาน จากนั้นคำนวณปริมาณการดูดซับ

7. การศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียม

ชั่งน้ำหนักผักตบชวา 0.05x กรัม (ทศนิยมสี่ตำแหน่ง) ในขวดโพลีเอทิลีน เติมสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมเข้มข้น 50 mg/L ที่ปรับพีเอช 3 ลงไปในขวดที่มีผักตบชวาอยู่ขวดละ 25 mL นำไปเขย่า 150 rpm เป็นเวลาที่กำหนดไว้ 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาทีตามลำดับ นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 357.90 nm นำค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้สมการจากกราฟมาตรฐาน จากนั้นคำนวณปริมาณการดูดซับ

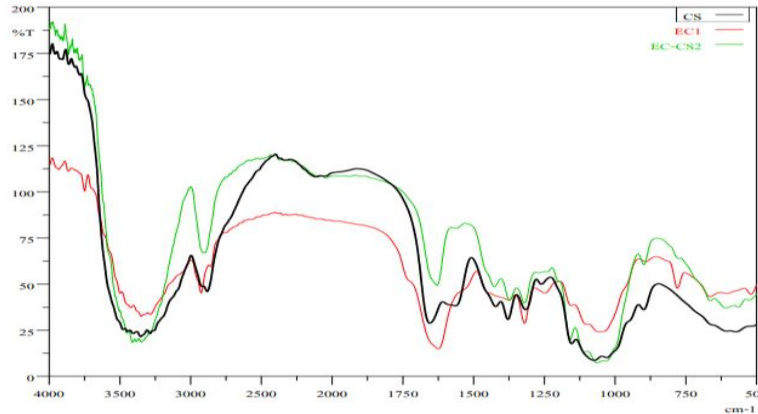
ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของผักตบชวา

จากการศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของผักตบชวา (EC) และผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs) ดังภาพที่ 1 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานและไม่ได้ปรับปรุง พบว่า แถบการสั่นอยู่ในช่วงเลขคลื่น 3,350 - 3,600 cm^{-1} เนื่องจากการสั่นของหมู่ O-H stretching และ N-H stretching และแถบการสั่นอยู่ในช่วงเลขคลื่น 2,900 - 2,890 cm^{-1} เนื่องมาจากหมู่ C-H stretching, แถบการสั่นอยู่ในช่วงเลขคลื่น 1,160-1,110 cm^{-1} เนื่องมาจาก C-O-C หรือพันธะอีเทอร์ ในขณะที่ผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานมีแถบการ



สั้นในช่วงเลขคลื่น 1650 cm^{-1} ของ C=O ของ เอไมด์ และแถบการสั่นในช่วงเลขคลื่น $1400\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$ ของ N-H stretching deformation เกิดขึ้นเหมือนกับสเปกตรัมของโคโตนานบริสุทธิ์



ภาพที่ 1 ผลการศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของผักตบชวา (EC) และผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยโคโตนาน (EC/Cs)

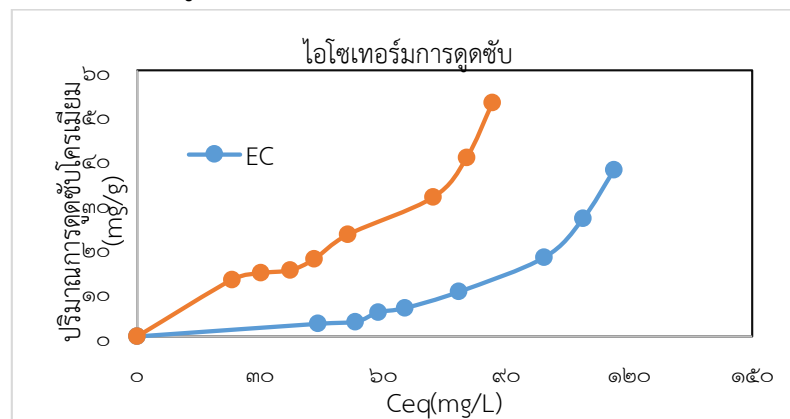
2. ผลการศึกษาหาพื้นที่ผิวจำเพาะของผักตบชวาและผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยโคโตนาน

ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของผักตบชวา (EC) และผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยโคโตนาน (EC/Cs) แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า ผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยโคโตนาน มีพื้นที่ผิวสูงขึ้นเมื่อเทียบกับผักตบชวาไม่ได้ปรับปรุงผิว

ตารางที่ 1 พื้นที่ผิวของผักตบชวา (EC) และผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยโคโตนาน (EC/Cs)

ตัวอย่าง	ชนิดของสารดูดซับ	พื้นที่ผิว (m^2/g)
1	EC	55.60
2	EC/Cs	88.69

3. ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

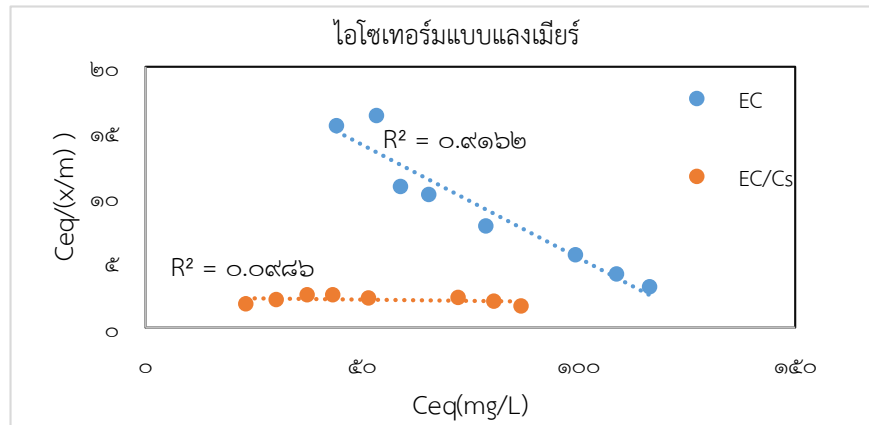


ภาพที่ 2 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนตีโครเมียมโดยใช้ผักตบชวา (EC) เปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ปรับปรุงผิวด้วยโคโตนาน (EC/Cs)

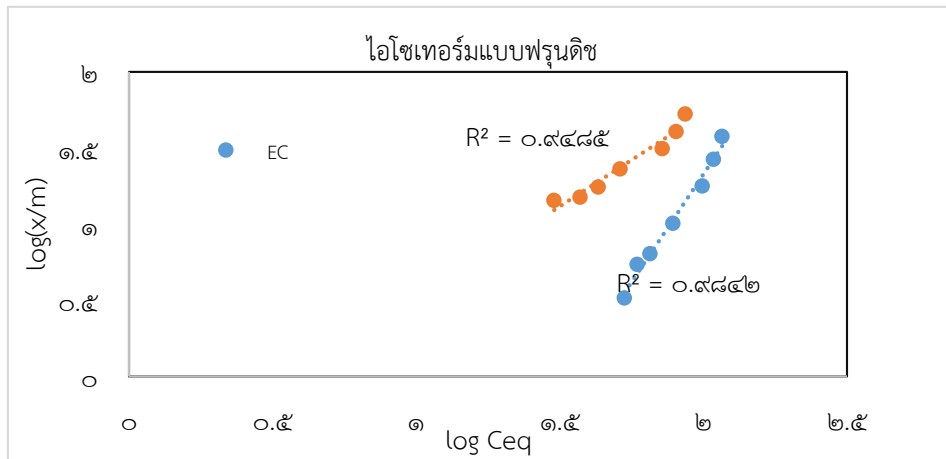
จากภาพที่ 2 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนตีโครเมียมโดยใช้ผักตบชวา (EC) เปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ปรับปรุงผิวด้วยโคโตนาน (EC/Cs) พบว่าพฤติกรรมการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนตีโครเมียมผักตบชวาและผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยโคโตนานจะได้ไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นแบบฟรุนดลิช (ภาพที่



4) ได้ดีกว่า เพราะมีค่า r^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าแบบแลงเมียร์ (ภาพที่ 3) และพบว่าไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบฟรุนดลิชมีค่า $n < 1$ จึงทำให้ปริมาณพื้นผิวของตัวดูดซับมีปริมาณจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับ



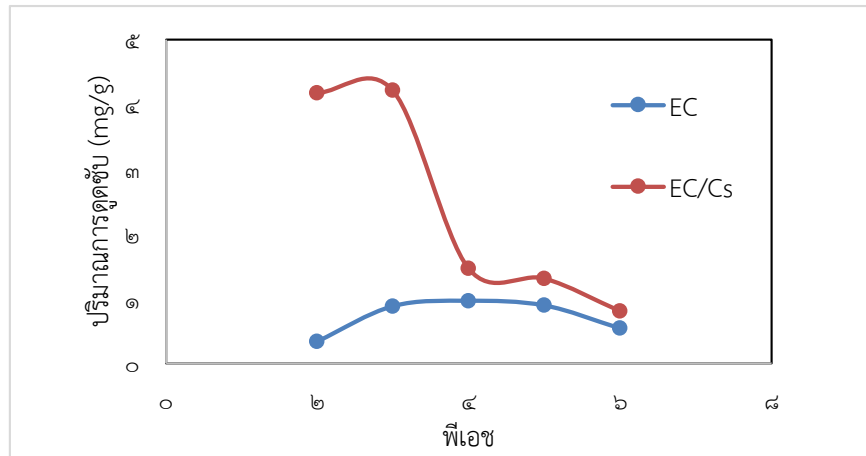
ภาพที่ 3 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ผักตบชวา (EC) เปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs)



ภาพที่ 4 ฟรุนดลิชไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ผักตบชวา (EC) เปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs)

4. ผลการศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีต่อการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียม

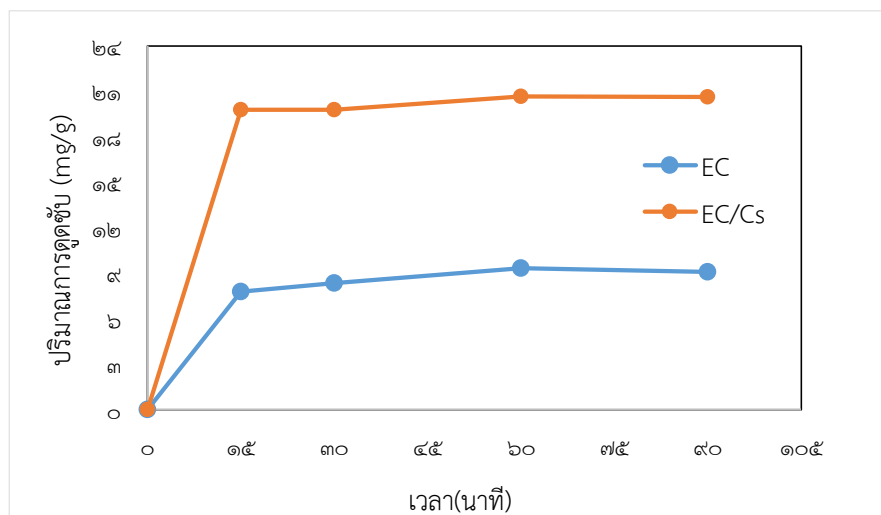
ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ผักตบชวา (EC) เปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs) พบว่า การดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมของผักตบชวาทั้ง 2 ชนิด ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 3 มีปริมาณการดูดซับสูงสุดและปริมาณการดูดซับลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลของฟี่เอชที่มีต่อการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ผักตบชวา (EC) เปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs)

7. ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียม

ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ผักตบชวา (EC) เปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs) พบว่า การดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมของผักตบชวาทั้ง 2 ชนิด จะคงที่หลังจากเวลา 30 นาที ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ผักตบชวา (EC) เปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

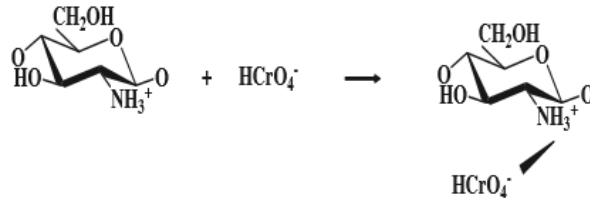
จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผักตบชวาที่เป็นตัวดูดซับทั้งสองชนิด พบว่า การปรับปรุงผักตบชวาด้วยไคโตซาน ทำให้พื้นที่ผิวมีรูพรุนมากขึ้น สอดคล้องกับการรายงานของ Gokila S. et al. (2017) ที่ได้จากการวิเคราะห์ SEM พบว่า ไคโตซานที่ผ่านการเชื่อมขวาง มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวที่มีรูพรุน และขรุขระ

การศึกษากการดูดซับเฮกซะวาเลนต์โครเมียม โดยใช้ผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs) มีความสามารถในการดูดซับเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับปรุง สอดคล้อง



กับการรายงานของ Choi, et al. (2009) ที่รายงานว่า การปรับปรุงพื้นที่ตัวดูดซับทำให้ปริมาณการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มประจุบนผิวของตัวดูดซับได้มากขึ้น ทำให้เกิดการจับกับไอออนโลหะได้มากขึ้น

สำหรับพฤติกรรมการดูดซับเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ผักตบชวาและผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน พบว่าเป็นไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิช เพราะมีค่า r^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าแบบแลงเมียร์ แสดงว่าการดูดซับโครเมียม (VI) ไอออนบนผิวตัวดูดซับผักตบชวาทั้งสองชนิดเป็นแบบสองชั้น โดยมีสมการที่เกิดขึ้นดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แบบจำลองการดูดซับโครเมียม (VI) กับไคโตซาน
(ที่มา : โกวิทย์ ปิยะมั่งคลา, 2551)

ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ผักตบชวา (EC) เปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs) พบว่า การดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมของผักตบชวาทั้ง 2 ชนิด ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 3 มีปริมาณการดูดซับสูงสุดและมีปริมาณการดูดซับลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากพีเอช 3 แสดงความเป็นประจุบวกกระทำต่อประจุลบของเฮกซะวาเลนต์โครเมียม สอดคล้องกับงานวิจัยของพาดรัตน์ นิลเจียรนัย (2559) ที่รายงานไว้ว่า ความเป็น กรด-เบส ของสารละลายมีอิทธิพลต่อประจุที่ผิวของตัวดูดซับที่มีอยู่ในสารละลาย เนื่องมาจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างประจุบวกที่ผิวของไคโตซานกระทำต่อประจุลบของตะกั่ว และสอดคล้องกับ Rani et al. (2017) ที่รายงานว่า การดูดซับโครเมียม (VI) โดยใช้ผักตบชวาจะเกิดได้ดีที่พีเอช 2-3 และสอดคล้องกับ Singh and Nagendran (2016) รายงานว่าการดูดซับโครเมียม (VI) โดยใช้ไคโตซานจะเกิดได้ดีที่พีเอชเท่ากับ 3

ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้ผักตบชวา (EC) เปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs) พบว่าการดูดซับสารละลายเฮกซะวาเลนต์โครเมียมของผักตบชวาทั้ง 2 ชนิด จะคงที่หลังจากเวลา 30 นาที และผักตบชวาที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (EC/Cs) มีปริมาณการดูดซับที่สูงกว่าผักตบชวา (EC) เนื่องจากพื้นที่ผิวที่ต่างกันของผักตบชวาทั้ง 2 ชนิด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rani et al. (2017) ที่รายงานไว้ว่าการกำจัดโครเมียมเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 30 นาที โดยผักตบชวาที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม มากกว่าผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ เป็นเพราะความอึดตัวของ การดูดซับที่มีอยู่

เอกสารอ้างอิง

- กมลศิริ พันธนีเย. (2556). **ไคติน-ไคโตซาน**. (ออนไลน์) <https://guru.sanook.com/2511/> 6 พฤศจิกายน 2561.
โกวิทย์ ปิยะมั่งคลา, จารุวรรณ ตาหวัฒน์, ปิยะวัฒน์ โพธิมงคลกุล และฉัฐรัส คงสมภักดิ์. (2551). จลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม(VI) จากโรงงานชุบโลหะด้วยไคโตซานเรซิน. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**, 18, 68-79.
ปรีชา ปัญญา. (2557). **เคมีพื้นผิว**. กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. 246 หน้า.



- พดาร์ตน์ นิลเจียรนัย และ ปิยนันท์ น้อยรอด (2559). ประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยผลฝ้ายและไมยราบยักษ์. ว. วิทย. เทคโนโลยี.28. หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.
- นุสรรา วนาเฉลิมกิจ และ ปรีชา ปัญญา (2559). การดูดซับโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยเซพทิลพิริดีเนียมคลอไรด์. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 3. 22 ธันวาคม 2559. กำแพงเพชร : มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- วนิดา นราวงษ์ และ ปรีชา ปัญญา (2560). การเตรียมเซลลูโลสจากใบผักตบชวาเพื่อดูดซับโครเมียม (VI) ไอออน. การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 4, 21 ธันวาคม 2560. กำแพงเพชร : มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. 957-966.
- สารานุกรมเสรี. (2561). โครเมียม. (ออนไลน์) <https://th.wikipedia.org/โครเมียม>, 6 พฤศจิกายน 2561.
- สารานุกรมเสรี. (2561). ผักตบชวา.(ออนไลน์) <https://th.wikipedia.org/ผักตบชวา>, 6 พฤศจิกายน 2561.
- Choi H.D., Jung W.S., Cho J.M., Ryu B.G., Yang J.S., and Baek K. (2009). Adsorption of Cr(VI) onto cationic surfactant-modified activated carbon. **Journal of Hazardous Materials**, 166, 642-646.
- Gokila S., Gomathi T., Sudha P.N. & Sukumaran A. (2017). Removal of the heavy metal ion chromium (VI) using Chitosan and Alginate nanocomposites. **International Journal of Biological Macromolecules**, 104, 1459-1468.
- Rani, N., Singh, B. and Shimrah, B. (2017). Chromium (VI) removal from aqueous solutions using Eichhornia as an adsorbent. **Journal of Water Reuse and Desalination**, 7 (4), 461-467.
- Rashid, F.H., Taha, A.A. and Hameed, N.J. (2019) Study of toxic heavy metal removal by different chitosan-hyacinths plant composite. **Iraqi Journal of Agricultural Sciences**, 50 (5), 1416-1424.
- Singh, S. and Nagendran, R. (2016) A comparative study of sorption of chromium (III) onto chitin and chitosan. **Appl. Water Sci.**, 6, 199-204.