



การกำจัดสารละลายโครเมียม (VI) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน
Removal of Chromium (VI) from Aqueous Solution Using Activated Carbon
Modified with Chitosan

วรุณยุพา กันรัมย์¹ และปรีชา ปัญญา²
Waroonyupa Kanrungrum¹ and Preecha Panya²

¹นักศึกษาโปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
²รองศาสตราจารย์ประจำโปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทคัดย่อ

การศึกษาการดูดซับโครเมียม (VI) จากสารละลายบนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุง (AC) และที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (MAC) เริ่มจากศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังโดยวิธีการดูดซับเมทิลีนบลู พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานมีพื้นที่ผิวสูงกว่าที่ไม่ได้ปรับปรุง ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดโดยใช้การทดลองแบบกะ พบว่า พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงมีพื้นที่ผิวสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุง พฤติกรรมการดูดซับบนถ่านทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์กับทั้งไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และฟรอนดิช แต่การดูดซับสารละลายโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานสอดคล้องกับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และฟรอนดิชมากกว่า และพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานมีความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) เท่ากับ 6.84 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงซึ่งมีความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) เท่ากับ 4.46 มิลลิกรัมต่อกรัม เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงขึ้นและการจับกันของโครเมียม (VI) กับไคโตซาน

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

Abstract

The adsorption processes of Cr (VI) from aqueous solution onto activated carbon from cassava root (AC) and a modified activated carbon (MAC) with chitosan have been investigated. The surface area of these two activated carbons were measured by adsorption of methylene blue. The results showed that the MAC has a higher surface area compared with the AC. Adsorption isotherm onto the AC or MAC have been investigated in a batch adsorption experiment. The results showed that the MAC with chitosan have a higher surface area compared with the AC. Experimental equilibrium data have been obtained and correlated with Freundlich and Langmuir isotherms for the determination of the adsorption behavior. The results have shown that the Freundlich isotherm model better fits the experimental data compared with the Langmuir isotherm for MAC. It was found that the MAC has a higher Cr(VI) adsorption capability, with 6.84 mgg⁻¹, compared with AC, which has a capacity of 4.46 mgg⁻¹ due to that the MAC has a higher surface area and interaction of Cr(VI) and chitosan.

Keywords: Chromium (VI) / activated carbon from cassava root / chitosan / adsorption isotherm

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon, AC) เป็นตัวดูดซับที่มีรูพรุน มีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ที่มีความพรุนสูง จึงมีความสามารถในการดูดซับสูง (Mahaninia et al., 2015) ปัจจุบันการใช้งานถ่านกัมมันต์เป็นไปอย่างกว้างขวาง และมีแนวโน้มการใช้งานขยายตัวเพิ่มขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศ การศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังโดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี และวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ จากนั้นศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่



เตรียมได้ โดยใช้ค่าการดูดซับไอโอดีนหรือค่าเลขไอโอดีน และค่าการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู โดยวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ได้ พบว่า ค่าพื้นที่ผิวยังมีค่าต่ำและเมื่อทดสอบความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ยังคงต่ำเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน (ธีระ วงศ์เนตร และปรีชา ปัญญา, 2554)

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีอยู่มากในเปลือกแข็งหรือกระดองของสัตว์ทะเลได้แก่ กระดองปูเปลือกกุ้ง และแกนหมึก โดยปกติแล้วเปลือกแข็งเหล่านี้จะถูกทิ้งไปที่ถังขยะที่ก่อปัญหาเน่าเหม็นต้องทำลายทิ้งหรือถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้เพียงเป็นอาหารสัตว์หรือทำปุ๋ย ดังนั้นแนวทางหนึ่งของการใช้ของเสียเหล่านี้เป็นวัตถุดิบเพื่อแยกไคตินออกมา และนำมาเตรียมเป็นไทยโดยสารจึงนับว่ามีประโยชน์อย่างยิ่งเพราะนอกจากเป็นการช่วยกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรม (ไควิทซ์ ปิยะมังคลา จารุวรรณ ตาพวัฒน์, ปิยะวัฒน์ โพธิมงคลกุล และฉัฐรส คงสมภักดิ์, 2551)

โลหะมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อภาคอุตสาหกรรม มีการใช้โลหะในกระบวนการผลิตโลหะโครเมียม (VI) ไอออนหรือเฮกซะวาเลนทีโครเมียม ซึ่งการได้รับโครเมียมเพียงเล็กน้อยอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอย่างรุนแรง เป็นมลภาวะที่อันตรายมากที่สุดเมื่ออยู่ในน้ำ เฮกซะวาเลนทีโครเมียม เป็นสารอันตรายที่จัดอยู่ในกลุ่มของสารก่อมะเร็งที่ส่งผลกระทบต่ออื่น เมื่อได้รับสารดังกล่าวเป็นเวลานานจะมีโอกาสเป็นมะเร็งปอด โครงสร้างดีเอ็นเอถูกทำลายได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้เฮกซะวาเลนทีโครเมียมยังถูกสั่งห้าม และจำกัดปริมาณการใช้ ผู้ที่ได้รับสารเฮกซะวาเลนทีโครเมียมจะมีอาการระคายเคืองที่ผิวหนัง โรคระบบทางเดินหายใจ ทำให้ปอด ตับ ไต และลำไส้ถูกทำลาย มีอาการบวม น้ำ และเจ็บแฉะบวมหรือคัน (ศุภมาส ตำนวิทยากุล และอารี ธนบุญสมบัติ, 2556) ด้วยเหตุนี้ทำให้มีการกำจัดโครเมียม (VI) ไอออนออกจากรน้ำเสียสามารถทำได้ด้วยวิธีการแบบต่างๆ ซึ่งการดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ และน่าเชื่อถือในการกำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษออกจากรน้ำเสีย (Liu et al, 2010)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเป็นการปรับปรุงถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังด้วยไคโตซาน โดยทำการศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (MAC) และไม่ได้ปรับปรุง (AC) และศึกษาการดูดซับสารละลายโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์ทั้งสอง เพื่อนำผลจากการวิจัยที่ได้ไปพัฒนาการปรับปรุงถ่านกัมมันต์ เพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับงานต่อไป ซึ่งเป็นกรนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ และยังเป็นแนวทางสำหรับเป็นตัวดูดซับโลหะหนักในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (MAC) และถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุง (AC)
2. เพื่อศึกษาการกำจัดสารละลายโครเมียม (VI) โดยการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุง

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้รูปแบบวิจัยเชิงทดลอง โดยศึกษาการกำจัดสารละลายโครเมียม (VI) ที่เตรียมได้จากโพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) โดยใช้การดูดซับบนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุง เทียบกับกับถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย 1% ไคโตซาน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

สารละลายโครเมียม (VI) จากโพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) 99 % (A.R) ไคโตซาน (Chitosan, From Shrimp Shells, $(C_6H_{11}NO_4)_n$) จากบริษัท HIMEDIA ประเทศอินเดีย เครื่องมือวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (VI) ได้แก่ เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) รุ่น 3110 serial No.311N 5082103 ยี่ห้อ Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา และเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น UV-1800 ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น



2. การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยไคโตซาน

2.1 เตรียมถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นที่อุณหภูมิการคาร์บอนเซชันเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลากระตุ้นเท่ากับ 30 นาที อัตราส่วนถ่านต่อซิงค์คลอไรด์เท่ากับ 1 ต่อ 2 แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่นให้มีพีเอชเท่ากับน้ำกลั่นเริ่มต้นที่ใช้ล้าง (ธีระ วงศ์เนตร และ ปรีชา ปัญญา, 2554)

2.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Lasindrang et al., 2015)

เตรียมสารละลายไคโตซาน โดยชั่งไคโตซาน 1 กรัม ละลายด้วยกรดออกซาลิก 10% wt/v จำนวน 100 mL นำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากข้อ 2.1 ผสมสารละลายไคโตซานที่เตรียมได้ในอัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อสารละลายไคโตซานเท่ากับ 1 : 3 เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ล้างถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำกลั่นก่อนนำไปอบ 60 องศาเซลเซียสจนแห้ง จากนั้นทำให้เป็นกลางโดยแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % w/v เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำกลั่นจนได้พีเอชเท่ากับน้ำกลั่นเริ่มต้นที่ใช้ล้าง อบให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เพื่อนำไปศึกษาหาพื้นที่ผิวและกระบวนการดูดซับโครเมียม (VI) ต่อไป

3. การศึกษาหาพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยไคโตซาน

นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ในข้อ 2 มาวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวโดยวิธีการดูดซับเมทิลีนบลู (ปรีชา ปัญญา, 2557)

3.1 เตรียมสารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 5, 10, 20 และ 30 mg/L เพื่อทำการพามาตรฐานด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 660 nm

3.2 เตรียมสารละลายเมทิลีนบลู เพื่อใช้ทดลองการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ เตรียมที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 และ 100 mg/L

3.3 การทดลองการดูดซับเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว

1) ชั่งถ่านกัมมันต์ 0.1 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในขวด ขนาด 100 mL

2) เติมสารละลายเมทิลีนบลู ที่ความเข้มข้นต่างๆที่เตรียมได้จากข้อ 3.2) ลงในขวดที่มีถ่านกัมมันต์อยู่ จำนวน 40 ml (ขวดที่ 1 ให้เติมเฉพาะน้ำกลั่น) ปิดฝา แล้วเขย่าด้วย Shaker เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3) นำสารละลายไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำสารที่ได้จากการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 660 nm

5) หาปริมาณการดูดซับ สามารถคำนวณโดยใช้สมการ (1)

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

เมื่อ q_e = ปริมาณการดูดซับที่สมดุลต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

X = ปริมาณการดูดซับที่สมดุล (มิลลิกรัม)

C_0 = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเริ่มต้น

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล

V = ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ

m = มวลของถ่านกัมมันต์

สูตรการคำนวณ สำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ดังสมการ (2)

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

เมื่อ q_m = ปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับที่สามารถดูดซับแบบชั้นเดียวต่อน้ำหนักของ ตัวดูดซับ

K_L = ค่าคงที่ของการดูดซับแบบแลงเมียร์

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล

นำค่าที่คำนวณได้ไปเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล (C_{eq}) กับ ปริมาณของโลหะที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (q) โดยค่า r^2 จะต้องมีค่าเข้าใกล้ 1 จึงถือว่าเป็นไอโซเทอร์มการดูดซับตามสมการแลงเมียร์

3.4 คำนวณค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ ใช้สมการที่ (3) (ปรีชา 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 = มวลโมเลกุลของเมทิลีนบลู 373.9 g/mol

4. การศึกษาการดูดซับโครเมียม (VI) โดยการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยโคโตซาน ซึ่งถ่านกัมมันต์ 0.1 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในขวดโพลีเอทิลีน เดิมสารละลาย ไอออนที่ความเข้มข้นต่างๆ เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่า 150 rpm เป็นเวลา 0 – 180 นาที แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำสารละลายที่ได้จากการกรอง ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 357.9 nm เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (VI) ที่สมดุล แล้วนำไปหาปริมาณในการดูดซับโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์ สามารถคำนวณโดยใช้สมการ (1) สำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับใช้สมการแบบแลงเมียร์ใช้สมการ (2) และสมการฟรุนดลิช ดังสมการ (4)

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (4)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณการดูดซับสูงสุดตามสมการฟรุนดลิช
 K_f = ค่าคงที่ของการดูดซับแบบฟรุนดลิช
 n = ค่าคงที่

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

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาหาพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยโคโตซาน

1.1 ผลการศึกษาหาพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์

พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและที่ปรับปรุงผิวด้วยโคโตซาน แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยโคโตซาน (MAC) มีพื้นที่ผิว $37.09 \text{ m}^2/g$ สูงขึ้นเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว (AC) ซึ่งมีพื้นที่ผิว $15.69 \text{ m}^2/g$

ตารางที่ 1 ผลของการปรับปรุงพื้นที่ผิวที่มีต่อพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง

ตัวอย่าง	ชนิดของถ่านกัมมันต์	พื้นที่ผิว (m^2/g)
1	AC	15.69
2	MAC	37.09

2. ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

ภาพที่ 1 เป็นผลการศึกษาเวลาที่ใช้ในการดูดซับสารละลายโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว (AC) เปรียบเทียบกับที่ปรับปรุงด้วยโคโตซาน (MAC) พบว่าที่เวลา 120 นาที เป็นเวลาที่การดูดซับเข้าสู่ภาวะสมดุลของการดูดซับ คือปริมาณการดูดซับคงที่

ภาพที่ 2 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายโครเมียม (VI) ไอออน บน AC และ MAC พบว่า ถ่านกัมมันต์ทั้งที่ไม่ได้ปรับปรุงและที่ปรับปรุงด้วยโคโตซานจะได้ไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์ (ภาพที่ 3) และแบบฟรุนดลิช (ภาพที่ 4) โดยถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงอธิบายโดยใช้ไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิชได้ดีกว่า เพราะมีค่า r^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่า (ตารางที่ 2) มีความสามารถในการดูดซับโดยพิจารณาจากความชันของกราฟระหว่าง $\log C_e$ กับ $\log q_e$ จากตารางที่ 2 พบว่าไอโซเทอร์มของการดูดซับมีค่า $n > 1$ จึงทำให้ปริมาณพื้นที่ผิวของ



ตัวดูดซับมีปริมาณไม่จำกัดที่จะใช้ในการดูดซับ ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงอธิบายโดยใช้ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ได้ดีกว่าแบบฟรุนดลิช เพราะมีค่า r^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่า (ตารางที่ 2)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารละลาย Cr(VI) ไอออนตามไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์ พบว่าปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับที่สามารถดูดซับแบบชั้นเดียว (q_m) เท่ากับ 4.4563 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ไม่ปรับปรุง (AC) ซึ่งมีปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับที่สามารถดูดซับแบบชั้นเดียว (q_m) เท่ากับ 6.8446 มิลลิกรัมต่อกรัม เพิ่มขึ้นจากเดิม 21.13 % ที่เวลาสัมผัส 180 นาที

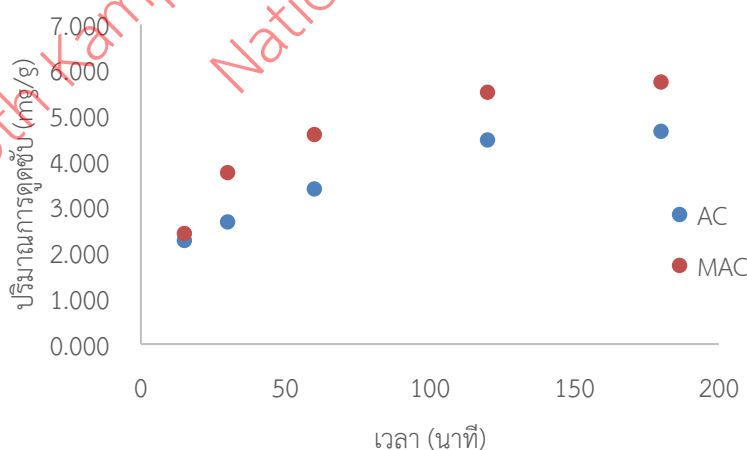
จากการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการวิเคราะห์การดูดซับโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน โดยใช้สถิติ t-test (ปรีชา, ปัญญา, 2549)

$$t_{\text{test}} = \frac{\bar{D}}{S_d} \sqrt{N} \quad (5)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{D})^2}{N-1}}$$

- โดยที่ D_i = ความแตกต่างของผลการทดลองโดยวิธีวิเคราะห์ทั้งสองต่อสารตัวอย่าง
แต่ละสาร (คิดเครื่องหมายบวกลบด้วย)
 \bar{D} = ค่าเฉลี่ยของ D_i (คิดเครื่องหมายบวกลบ)
 N = จำนวนสารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

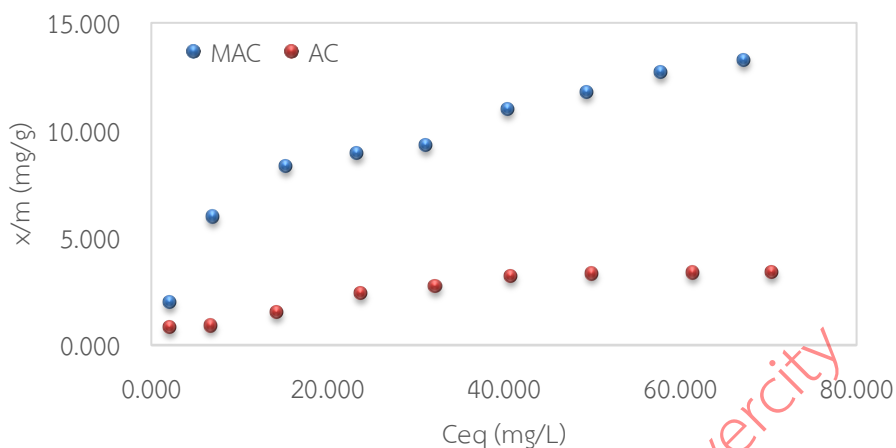
แสดงผลในตารางที่ 3 พบว่า ค่า t_{test} มีค่า 6.30 ซึ่งเปรียบเทียบกับ t_{table} ที่ลิมิตความเชื่อมั่น 99% ที่ระดับชั้นเสรี = 8 มีค่าเท่ากับ 3.36 จึงสรุปได้ว่า ค่า $t_{\text{test}} > t_{\text{table}}$ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทุกความเข้มข้น ดังนั้นผลการวิเคราะห์การดูดซับโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 99%



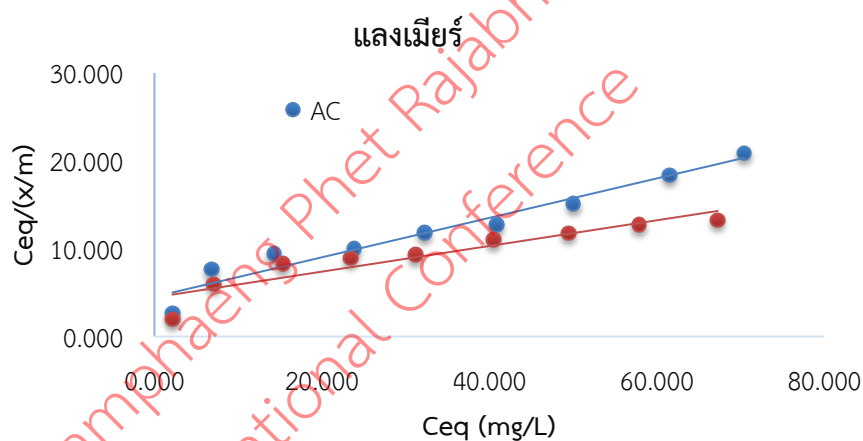
ภาพที่ 1 เวลาที่ใช้ในการดูดซับสารละลายโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว (AC) เปรียบเทียบกับที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (MAC)



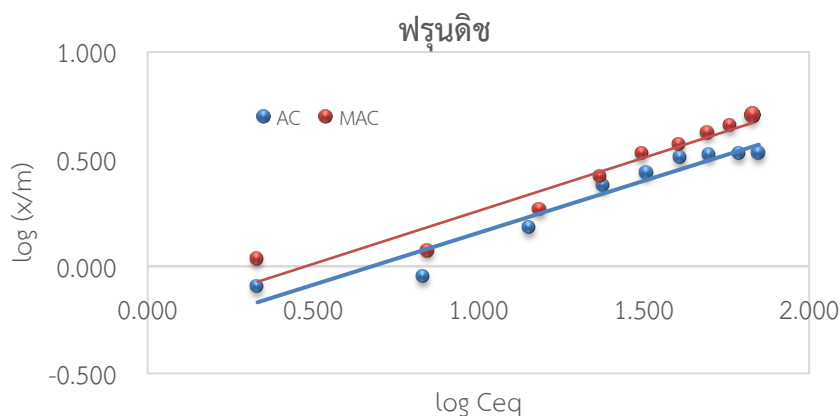
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร



ภาพที่ 2 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุง (AC) เปรียบเทียบกับที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (MAC)



ภาพที่ 3 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุง (AC) เปรียบเทียบกับที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (MAC)



ภาพที่ 4 ฟรอนดิชไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุง (AC) เปรียบเทียบกับที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (MAC)



ตารางที่ 2 ค่าคงที่จากไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ และแบบฟรุนดิชของการดูดซับสารละลายโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุง (AC) และปรับปรุงด้วยไคโตซาน (MAC)

ชนิดของถ่านกัมมันต์	ค่าคงที่แบบแลงเมียร์			ค่าคงที่แบบฟรุนดิช		
	q_m (mg/g)	K_L (mg/L)	r^2	K_F	n	r^2
AC	4.4563	20.1711	0.9493	2.1365	2.0597	0.9375
MAC	6.8446	30.5510	0.8708	1.7278	2.0165	0.9331

ตารางที่ 3 ผลการใช้สถิติ t-test ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยปริมาณการดูดซับโครเมียม (VI) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุง (AC) และที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (MAC)

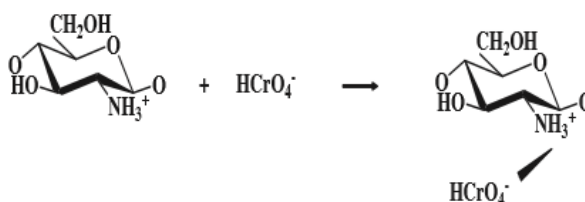
ขวดที่	ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (mg/L)	ถ่านที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (mg/g)	ถ่านที่ไม่ได้ปรับปรุง (mg/g)	D_i	$D_i - \bar{D}$	$(D_i - \bar{D})^2$
1	5	1.242	0.808	0.43	-0.42	0.179
2	10	1.182	0.755	0.43	-0.43	0.185
3	20	1.851	1.102	0.75	-0.11	0.012
4	30	3.410	2.394	1.02	0.16	0.025
5	40	3.442	2.729	0.71	-0.14	0.021
6	50	3.693	3.118	0.58	-0.28	0.079
7	60	4.202	3.312	0.89	0.03	0.001
8	70	4.564	3.355	1.21	0.35	0.124
9	80	5.074	3.376	1.70	0.84	0.708

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานพบว่า การปรับปรุงถ่านกัมมันต์ด้วยไคโตซาน ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากไคโตซานทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมีรูพรุนมากขึ้น สอดคล้องกับการรายงานของ Gokila et al. (2017) ที่ได้จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ไคโตซานมีพื้นที่ผิวที่มีรูพรุน และขรุขระ

การศึกษาการดูดซับโครเมียม (VI) ไอออนบนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ปรับปรุงผิวด้วยไคโตซาน มีความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ไอออน เท่ากับ 6.84 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 4.46 มิลลิกรัมต่อกรัม สอดคล้องกับการรายงานของ Choi et al. (2009) ที่รายงานว่า การปรับปรุงพื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์ทำให้ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นเพราะเป็นการเพิ่มประจุบนผิวของถ่านกัมมันต์ได้มากขึ้น ทำให้เกิดการจับกับไอออนโลหะได้มากขึ้น และเกิดจากการจับกันระหว่างโครเมียม (VI) กับไคโตซานที่อยู่บนผิวถ่านกัมมันต์ (Schmuhl et al., 2001)

สำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายโครเมียม (VI) ไอออนบนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงเป็นไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ แสดงว่าการดูดซับโครเมียม (VI) ไอออนบนผิวถ่านกัมมันต์เป็นแบบชั้นเดียว สอดคล้องกับผลการวิจัยครั้งที่ผ่านมา (นุสรา วนาเฉลิมกิจ และปรีชา ปัญญา, 2559) เนื่องจาก แต่สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานมีพฤติกรรมการดูดซับเป็นไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิช เนื่องจากเกิดจากการจับกันระหว่างโครเมียม (VI) กับไคโตซานที่อยู่บนผิวถ่านกัมมันต์ (ภาพที่ 5) ซึ่งทำให้สารละลายโครเมียม (VI) ไอออนสามารถเกิดการดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์ได้หลายชั้น



ภาพที่ 5 แบบจำลองการดูดซับโครเมียม (VI) กับไคโตซาน
(ที่มา : โกวิทย์ ปิยะมงคล, 2551)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

สำหรับผู้สนใจที่จะพัฒนางานวิจัย อาจหาวัสดุหรือสารที่มีคุณสมบัติที่คล้ายไคโตซานและควรเป็นสารที่หาได้ง่าย เพื่อใช้ลดต้นทุนการเตรียมสารดูดซับ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรศึกษาตัวแปรอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อปริมาณการดูดซับ ได้แก่ ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ ค่าพีเอช อุณหภูมิในการทดลอง และอัตราส่วนของไคโตซานที่ใช้ปรับปรุง

เอกสารอ้างอิง

- โกวิทย์ ปิยะมงคล, จารุวรรณ ตาพวัฒน์, ปิยะวัฒน์ โพธิมงคลกุล และฉัฐรส คงสมภักดิ์. (2551). จลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม(VI) จากโรงงานชุบโลหะโดยไคโตซานเรซิน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 18, 68-79.
- จิระฉัตร ศรีแสน. (2557). ผลกระทบของโครเมียมและสารประกอบโครเมียมต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 60, 189.
- ธีระ วงศ์เนตร และปรีชา ปัญญา. (2554) การผลิตถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง. สักทอง วารสารการวิจัย. 17, 13-20.
- นุสรรา วนาเฉลิมกิจ และปรีชา ปัญญา. (2559). การดูดซับโครเมียม (VI) บนถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยเซทิลทริตีเนียมคลอไรด์. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 3. (น. 391-399). กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- ปรีชา ปัญญา. (2557). **เคมีพื้นผิว**. กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. หน้า 246.
- ปรีชา ปัญญา. (2549) **เคมีวิเคราะห์**. กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- ศุภมาส ตำนานวิทยากุล และอารี ธนบุญสมบัติ. (2556) "คุณรู้จัก เฮกซะวาเลนไทโครเมียม สารอันตรายใกล้ตัวแล้วหรือยัง? "**เทคโนโลยีวัสดุ**, 68 : 12-18 : มกราคม - มีนาคม 2556.
- สุธา เขียวเธียร, เจดศักดิ์ ไชยคณา และ รามนรี เนตรวิเชียร.(2544). การกำจัดสารหนูในรูปอาร์ซิเนตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไคโตซานแบบเม็ด. **วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม** 23, 1-11.
- Choi H.D., Jung W.S., Cho J.M., Ryu B.G., Yang J.S. & 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.
- Lasindrang M., Suwarno H., Tandjung S.D. & Kamiso H. N., (2015). Adsorption Pollution Leather Tanning Industry Wastewater by Chitosan Coated Coconut Shell Active Charcoal. **Science Direct** 3 , 241 – 247.



- Liu, W., Zhang, J., Zhang, C., Wang, Y. & Li, Y. (2010). Adsorptive removal of Cr (VI) by Fe-modified activated carbon prepared from *Trapa natans* husk. **Chemical Engineering Journal**, **162**. 677-684.
- Mahaninia M., Rahimian, P., & Kaghazchi, T., (2015). Modified activated carbons with amino groups and their copper adsorption properties in aqueous solution. **Chinese Journal of Chemical Engineering** **23**, 50–56.
- Rangabhashiyam S. & Selvaraju S. (2015). Efficacy of unmodified and chemically modified *Swietenia mahagoni* shells for the removal of hexavalent chromium from simulated wastewater. **Journal of Molecular Liquids** **209**, 487-497.
- Schmuhl, R., Krieg, H.M. & Keizer, K. (2001). Adsorption of Cu (II) and Cr(VI) ions by chitosan: Kinetics and equilibrium studies. **Water SA**. 27, January 2001.
- Vilar, V. J. P., Botelho C. M. S. & Boaventura R. A. R. (2007). Modeling equilibrium and kinetics of metal uptake by algal biomass in continuous stirred and packed bed adsorbers. **Adsorption** **13**, 587-601.

The 5th Kamphaeng Phet Rajabhat University
National Conference