

การพัฒนาถ่านกัมมันต์จากลูกहुกวางเพื่อดูดซับโครเมียม (III) ไอออน
จากน้ำเสียในการวิเคราะห์ค่า COD

Development of Activated Carbon from the Seed of *Terminalia catappa*
for Removal of Chromium (III) ion in Wastewater from COD Measurement

ปัญญา มณีจักร

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000 E-mail: panya.m@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์จากลูกहुกวาง สำหรับใช้เป็นสารดูดซับโครเมียม (III) ไอออน โดยถ่านคาร์บอนไนซ์สามารถเตรียมได้จากการเผาลูกहुกวางที่อุณหภูมิต่างๆ (300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส) ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน (1, 2 และ 3 ชั่วโมง) จากนั้นกระตุ้นถ่านคาร์บอนไนซ์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ด้วยอัตราส่วนต่างๆ แล้วนำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิและระยะเวลาเดียวกัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านคาร์บอนไนซ์คือเผาที่ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์คือใช้ถ่านคาร์บอนไนซ์ต่อ KOH อัตราส่วน 1 ต่อ 1 เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สภาวะนี้ให้ค่าความสามารถในการดูดซับโครเมียม (III) สูงที่สุด จากนั้นศึกษาพฤติกรรมการดูดซับโดยใช้แบบจำลองของแลงเมียร์และฟรุนดลิช พบว่า ทั้งถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เข้าใกล้ 1 เมื่อใช้แบบจำลองฟรุนดลิช แสดงว่าการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ของถ่านทั้งสองชนิดเป็นหลายชั้น และจากการศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม (III) ไอออน พบว่าสอดคล้องกับ Pseudo-Second Order การดูดซับโครเมียม (III) ไอออนในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD พบว่าถ่านกัมมันต์จากลูกहुกวาง สามารถกำจัดโครเมียม (III) ไอออนต่อ ปริมาณถ่าน เท่ากับ 4.64 มิลลิกรัมต่อกรัมซึ่งสูงกว่ากัมมันต์การค้า (Fluka 50120) ซึ่งกำจัดได้เพียง 0.61 มิลลิกรัมต่อกรัม

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์ ไอโซเทอร์ม โครเมียม (III) ไอออน

Abstract

This research studied the preparation of carbonized and activated carbon from the seed of *Terminalia catappa* as an adsorbent for the removal of chromium (III). The carbonized carbon was prepared by pyrolysis of *Terminalia catappa* seed at different temperatures (300, 400 and 500 °C) for reaction times of 1, 2 and 3 hours. The carbon obtained was then activated with potassium hydroxide (KOH) as an activating agent at different ratios. The optimum condition to prepare carbonized carbon was 500 °C and 1 hour. To produce the activated carbon,

carbonized carbon was added to KOH in a 1:1 ratio with the optimum condition of 400 °C and 3 hours. Using the Langmuir and the Freundlich adsorption isotherms, it was found that both carbonized and activated carbon showed R^2 approaching 1 when the Freundlich model was applied. The adsorption kinetics was found to follow the pseudo-second-order kinetic model. In addition, COD measurement for adsorption of chromium (III) ion in wastewater was examined. Similarly, the activated carbon removed 4.64 mg/g chromium (III) ion from wastewater. The results obtained showed a higher removal rate than that of the commercially available activated carbon (Fluka 50120), which was only 0.61 mg/g.

Keywords : activated carbon, isotherms chromium (III) ion

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการนำทรัพยากรต่างๆ มาใช้เป็นจำนวนมาก และก่อให้เกิดปัญหามลภาวะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลภาวะทางน้ำซึ่งนับวันปัญหาน้ำเน่าเสียจะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นซึ่งจะเห็นได้จากปัญหาน้ำเสียในแม่น้ำ ลำคลอง แหล่งเกษตรกรรม หรือเขตนิคมอุตสาหกรรม โดยในน้ำเสียพบว่าโลหะหนักจัดเป็นปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ โลหะหนักเป็นสารที่คงตัวเมื่อเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ จึงไม่สามารถสลายตัวได้เองในกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งโลหะหนักที่ถูกปล่อยออกมาส่วนใหญ่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ขาดระบบการกำจัดโลหะหนักหรือประสิทธิภาพของระบบกำจัดที่ไม่ดีพอ ตัวอย่างของโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โครเมียม ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม ทองแดง เป็นต้น ซึ่งการกำจัดโลหะหนักจะมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

โครเมียมที่ปล่อยมากับน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมมีวิธีการบำบัด หลากหลายกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี กระบวนการแยกโดยใช้เยื่อแผ่นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนและ

กระบวนการดูดซับ โดยปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่าง ๆ คือสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ปัญหาของการตกตะกอนคือต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมี และหลังการตกตะกอนต้องกำจัดกากตะกอนที่เกิดขึ้น ปัญหาของกระบวนการแยกโดยใช้เยื่อแผ่นคือจะต้องใช้แรงดันสูง เพราะเกิดการอุดตันของโลหะที่ผิวเยื่อแผ่นและค่าสารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาด ปัญหาของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน คือต้องใช้เรซินเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในขณะที่การดูดซับ (Absorption) เป็นกระบวนการที่มีความเหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักมีข้อดีคือไม่ต้องมีการเติมสารเคมีลงในน้ำเสีย ใช้เงินลงทุนน้อย ใช้เวลาในการบำบัดไม่นาน ใช้สถานที่ไม่มาก สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ตัวดูดซับที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโครเมียมจากอุตสาหกรรม ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งปัจจุบันมีการทำการวิจัยศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้หลายชนิด

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในปัจจุบันนิยมใช้ COD (Chemical Oxygen Demand) เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ โดยถ้าน้ำมีค่า COD มากแสดงว่าน้ำนั้นมีสารอินทรีย์เป็นจำนวนมาก จำเป็นจะต้องใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเป็นจำนวนมากด้วย ในการวิเคราะห์ค่า

COD ในน้ำทิ้งจะใช้สารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate: $K_2Cr_2O_7$) เป็นสารออกซิไดซ์ สารอินทรีย์ และจะทำปฏิกิริยาหมด โดยจะเปลี่ยนจาก โครเมียม (VI) เป็นโครเมียม (III) ซึ่งในน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ COD จะมีปริมาณ โครเมียม (III) ไอออน อยู่ประมาณ 1000 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นปริมาณที่มาก และยังมี โลหะอื่นอีกในปริมาณไม่มากเช่น โลหะเงิน พรอท และ เหล็กเป็นต้น โดยปกติห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำจะเก็บ รวบรวมน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ COD แล้วนำไป บำบัดที่บริษัทรับจ้างบำบัดของเสียอันตรายซึ่งจะต้อง เสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะบำบัดน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ COD เพื่อเป็นการ ลดค่าใช้จ่าย

โดยส่วนใหญ่พบว่าผู้คนนิยมปลูกต้นหูกวาง ไว้ในบริเวณต่าง ๆ เป็นจำนวนมากเพื่ออาศัยร่มเงาจาก ใบที่แพร่กระจายออกเป็นวงกว้าง แต่เมื่อเวลาต้นหูกวาง ออกผล ผลจะตกลงมาบนพื้น ทำให้บริเวณไม่น่ามอง เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม แนวคิดในการนำลูกหูกวาง มาทำเป็นถ่านกัมมันต์ คือลูกหูกวางจะผลิตผลออกทั้งปี และผลที่เกิดขึ้นมีประโยชน์ในด้านต่าง ๆ น้อยมาก ผู้คนจึงไม่สนใจ ดังนั้นถ้าเก็บรวบรวมมาผลิตเป็น ถ่านกัมมันต์ก็จะเกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น อีกประเด็น หนึ่งคือการผลิตถ่านกัมมันต์ต้องใช้วัสดุที่มีคาร์บอน เป็นองค์ประกอบจำนวนมาก ถ้าจะต้องตัดต้นไม้มาทำ ถ่านกัมมันต์จึงไม่คุ้ม ดังนั้นถ้าเลือกผลิตถ่านกัมมันต์ จาก ผลผลิตที่ไม่เป็นประโยชน์ของต้นไม้จึงจะเป็น ทางออกที่ดี ต้นไม้ก็ยังคงให้ร่มเงาและช่วยลดปริมาณ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ช่วยลดปรากฏการณ์โลกร้อน ได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งจากการวิจัยเบื้องต้นพบว่า ลูกหู กวางมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนคงตัวร้อยละ 20 ดังนั้น จึงเกิดแนวคิดที่จะนำเอาลูกหูกวางมาทำให้เกิด ประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจโดยการนำเอามา ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ (ปัญญา มณีจักร, 2554)

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาถ่านกัมมันต์จากลูกหู กวางเพื่อดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ในน้ำเสีย จาก การวิเคราะห์ค่า COD นี้ จะทำการพัฒนาการผลิตถ่าน คาร์บอนไนซ์ให้เหมาะสมกับการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน โดยจะเลือกอุณหภูมิและเวลาในการเผาให้ เหมาะสมกับการดูดซับ และจะนำถ่านคาร์บอนไนซ์ ที่ผลิตได้มากระตุ้นด้วยโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide: KOH) เข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล และเลือกอัตราส่วนของการผสมของกรดกับถ่าน อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน จากนั้นจะศึกษาความเป็นกรดเบส ในการดูดซับ โลหะหนักโครเมียม (III) ไอออน ศึกษาหุ้ฟังก์ชันนัล บนพื้นที่ผิวของถ่านคาร์บอนไนซ์ และถ่านกัมมันต์จาก ลูกหูกวางที่ผลิตได้ทุกสภาวะ ศึกษาว่าเป็นกลไกการดูดซับ แบบแลกเปลี่ยนหรือฟิสิกส์ ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับ ของถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางว่าเป็นแบบจำลอง ปฏิกริยาอันดับหนึ่งหรืออันดับสอง และศึกษา ประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ในน้ำทิ้ง จากการวิเคราะห์ค่า COD ด้วยถ่านกระตุ้นและถ่าน คาร์บอนไนซ์จากลูกหูกวาง โดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ การค้า (Fluka 05120)

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง เพื่อดูดซับโครเมียม (III) ไอออน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ โครเมียม (III) ไอออน ของถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลาในการเผา และความเป็นกรดเบส ในการดูด ซับโลหะหนักโครเมียม (III) ไอออน ด้วยถ่านกัมมันต์
4. เพื่อศึกษากลไกการดูดซับ และจลนศาสตร์ การดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ด้วยถ่านกัมมันต์จาก ลูกหูกวาง

5. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD ด้วย ถ่านกระตุ้นและถ่านคาร์บอนไนซ์จากลูกหูกวาง โดย เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 05120)

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ ลูกหูกวาง จากอำเภอกันทรลักษ์ จังหวัดศรีสะเกษ และถ่านกัมมันต์ การค้า (Fluka 05120) ผลิตจากบริษัท Sigma Aldrich การดูดซับโครเมียม (III) ไอออน โดยใช้ สารละลายโครเมียม (III) ไอออน เข้มข้น 100 พีพีเอ็ม 10 มิลลิลิตร ใช้ standard Cr 1000 mg/L ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$) ใน 0.5 mol/L HNO_3 , MERCK โดยใช้อัตราเร็วในการปั่น กวน 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

3.2 การวิเคราะห์โครเมียม (III) ไอออน

วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิก แอปซอร์ปชัน สเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer, SpectrAA, PerkinElmer) ที่ความยาวคลื่น 429.0 นาโนเมตร

3.3 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเผาถ่าน คาร์บอนไนซ์

นำลูกหูกวางตากแห้ง 1 วัน นำไปอบไล่ ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 120 นาที นำลูก หูกวางใส่ในภาชนะสเตนเลส ปิดฝา เผาด้วยเตาเผา ชนิดอับอากาศที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 500 °C เป็น เวลา 60, 120 และ 180 นาที ตามลำดับ บดถ่านให้มี ขนาดเล็กกว่า 50 Mesh (325 μm) แล้วนำถ่านที่ได้มา วิเคราะห์ค่าการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน

3.4 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของถ่านคาร์บอน ไนซ์ด้วยเครื่อง วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันนอล (Fourier Transform infrared

Spectroscopy, FT-IR, Perkin Elmer Spectrum100) โดยส่ง วิเคราะห์ที่ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยรังสิต

3.5 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านต่อ โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ในการผลิต ถ่านกัมมันต์จาก ลูกหูกวาง

นำถ่านคาร์บอนไนซ์ที่เผาด้วยอุณหภูมิและ ระยะเวลาที่เหมาะสมมาคั่วให้มีขนาด < 38 μm (400 mesh) ซึ่งถ่านคาร์บอนไนซ์และ KOH ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 (น้ำหนัก: น้ำหนัก) ละลายด้วยน้ำกลั่น DI อบ ให้แห้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 500 °C ระยะเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมงนำ ถ่านกัมมันต์ที่ได้มาปรับสภาพให้เป็นกลางด้วย 0.6 M HCl และ 0.6 M KOH จนมีค่าความเป็นกรดเบส ประมาณ 7 นำถ่านกัมมันต์ไปหาประสิทธิภาพในการดูดซับ โครเมียม (III) ไอออน เพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่ เหมาะสมในการกระตุ้น

3.6 การศึกษาหาค่าความเป็นกรดเบส ที่เหมาะสมของ ถ่านกัมมันต์หลังจากการกระตุ้น

นำถ่านกัมมันต์ไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 180 นาทีอย่างละ 0.50 กรัม ปิเปิดสารละลาย โครเมียม (III) ไอออน เข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรดเบสของสารละลาย เป็น 2, 3, 4 และ 5 นำไปเขย่าแล้วนำสารละลายส่วนใส ตรวจสอบหาปริมาณโครเมียมที่เหลือ

3.7 ปริมาณความเข้มข้นของโครเมียม (III) ไอออนที่ เหมาะสม และไอโซเทอร์มการดูดซับ

ซึ่งถ่านกัมมันต์และถ่านคาร์บอนไนซ์อย่างละ 0.25 กรัม ปิเปิดสารละลายโครเมียม (III) ไอออน เข้มข้น 10, 25, 50, 75 และ 100 พีพีเอ็ม ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร นำไปเขย่าแล้วนำสารละลายส่วนใสที่ได้ไป ตรวจสอบหาปริมาณโครเมียมที่เหลือ

3.8 การศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม (III) ไอออน
ซึ่งถ่านคาร์บอนไนซ์จากลูกหูกวาง 0.25 กรัม และ
ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง 0.125 กรัม ปิเปต
สารละลายโครเมียม (III) คลอไรด์ เข้มข้น 100 พีพีเอ็ม
ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร นำไปเขย่าเป็นเวลา 3, 6, 9, 12,
15, 2, 30 และ 40 นาที นำสารละลายส่วนใสที่ได้ไป
ตรวจหาปริมาณโครเมียมที่เหลือ

3.9 ศึกษาการดูดซับโครเมียมในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์
ค่า COD

ซึ่งถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง หนัก 0.125 กรัม
และถ่านคาร์บอนไนซ์หนัก 0.25 กรัม ซึ่งถ่านกัมมันต์
การค่า 0.50 กรัม ปิเปตน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD
ที่เจือจางลง 10 เท่า (COD มีโครเมียม (III) ไอออน
ประมาณ 1000 พีพีเอ็ม) ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร
นำไปเขย่าแล้วนำสารละลายส่วนใสที่ได้ไปตรวจหา
ปริมาณโครเมียมที่เหลือ

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมถ่าน
คาร์บอนไนซ์

ผลการทดลองหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ลูกหูกวางให้เป็นถ่าน เพื่อ
หาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม (III)
ไอออนผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละการกำจัดโครเมียม (III) ไอออนของถ่าน
คาร์บอนไนซ์ที่เผาที่สภาวะต่าง ๆ

อุณหภูมิ(°C)	เวลา(ชม.)	ร้อยละการกำจัด	SD
300	1	28.44	0.12
	2	28.92	0.31
	3	25.35	0.34
400	1	84.94	0.43
	2	48.04	0.24
	3	92.76	0.49
500	1	97.36	0.35
	2	96.91	0.59
	3	95.50	0.49

จากผลการทดลองพบว่า เวลาและอุณหภูมิที่ดี
ที่สุดในการคาร์บอนไนซ์ลูกหูกวางให้เป็นถ่านคาร์บอนไนซ์
คือที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งสามารถ
กำจัดโครเมียม (III) ได้สูงที่สุดคือ 97.36% เมื่อ
เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ทำก่อนหน้า ซึ่งศึกษาการ
เตรียมถ่านคาร์บอนไนซ์เพื่อดูดซับไอโอดีน พบว่าสภาวะ
ที่เหมาะสมคือเตรียมที่ 500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
(ปัญญา มณีจักร, 2554)

ที่อุณหภูมิ 500 °C คาร์บอนจะเกิดปฏิกิริยาการ
เผาไหม้กับอากาศ หมู่คาร์บอนิลจะแตกตัวออกจาก
โครงสร้างของถ่าน เมื่อการเผาใช้เวลานานขึ้นหมู่คาร์บอนิล
จะหลุดออกจากโครงสร้างได้มากขึ้น ถ่านจะมีความ
เป็นกรไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น ถ่านคาร์บอนไนซ์ก็จะมีควมมีขั้ว
น้อยลง จะดูดซับสารพวกโมเลกุลไม่มีขั้ว เช่น ไอโอดีน
ได้ดี ในทางตรงข้ามเมื่อการเผาใช้เวลาน้อยกว่า และ
หมู่คาร์บอนิลจะหลุดออกจากโครงสร้างได้น้อยลง ถ่าน
คาร์บอนไนซ์ก็จะมีควมมีขั้วมากขึ้น จะดูดซับสารพวก
โมเลกุลมีขั้ว หรือ ไอออนได้ดีขึ้น

4.2 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นที่ผิวของถ่าน

นำถ่านคาร์บอนไนซ์ไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวด้วยเครื่อง FT-IR พบว่าเกิดพีคที่บริเวณ $3,500\text{ cm}^{-1}$, $2,900\text{ cm}^{-1}$, $2,400\text{ cm}^{-1}$, $1,700\text{ cm}^{-1}$ และ $200\text{-}300\text{ cm}^{-1}$ แสดงว่ามีหมู่ -OH , CH-stretching , Possibly aromatic aldehyde, C=O และ CH-bending ในทุก ๆ อุณหภูมิ และระยะเวลา แสดงว่าถ่านคาร์บอนไนซ์ที่ผลิตได้ มีหมู่ฟังก์ชันนัลที่สามารถดูดซับโมเลกุลมีขั้ว และไอออนได้

4.3 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านคาร์บอนไนซ์ ต่อ KOH ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากลูกหวาง

ผลการทดลองการกระตุ้นแสดงดังตารางที่ 2

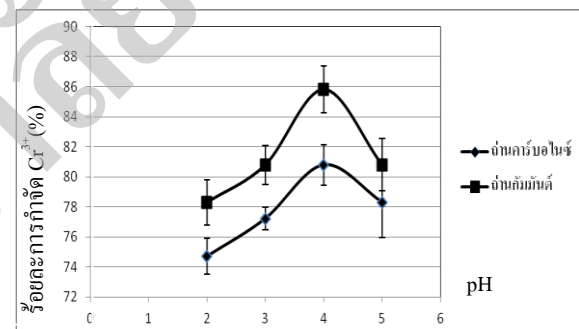
ตารางที่ 2 แสดงผลในการดูดซับโครเมียม (III) ของถ่านกัมมันต์ ที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนต่างๆ และเผากระตุ้นด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$)	เวลา(ชม.)	q_c (mg/g)		
		ถ่านต่อ KOH (w/w)		
		1:1	1:2	1:3
300	1	2.50	2.55	3.02
	2	3.15	2.91	3.11
	3	3.87	2.96	3.21
400	1	3.20	3.35	3.65
	2	3.50	3.67	3.67
	3	3.85	3.44	3.12
500	1	3.12	2.85	2.65
	2	3.00	2.95	2.66
	3	3.12	3.00	2.84

พบว่า การกระตุ้นด้วยอัตราส่วนถ่านต่อ KOH เป็น 1 ต่อ 1 และเผาที่อุณหภูมิ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สามารถดูดซับโครเมียม (III) ไอออนได้สูงที่สุด คือมีค่าความสามารถการดูดซับ (q_c) เท่ากับ 3.87 มิลลิกรัมต่อกรัม แต่เนื่องจากในขั้นตอนการล้างหลังการเผากระตุ้น พบว่าน้ำชะล้างมีสีน้ำตาลเข้มเนื่องจากมี

สารลิกนินและแทนนิน ซึ่งเผาไหม้ไม่หมด ละลายปะปนมาก จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการล้างนาน จึงเลือกการกระตุ้นด้วยอัตราส่วนถ่านต่อ KOH เป็น 1 ต่อ 1 และทำการเผาที่อุณหภูมิ $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่มีค่าความสามารถการดูดซับ (q_c) เท่ากับ 3.85 มิลลิกรัมต่อกรัม เพราะมีความสามารถดูดซับได้รองลงมาแต่การล้างทำได้ง่ายกว่า ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าลิกนินและแทนนินถูกเผาทำลายไป ซึ่งยืนยันได้จากกรณีที่นำล้างจากถ่านที่เผากระตุ้นที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะไม่มีสี

4.4 การศึกษาหาค่าความเป็นกรด-เบส ของสภาวะการดูดซับที่เหมาะสม ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงความสามารถในการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ที่ pH ต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์และถ่านคาร์บอนไนซ์

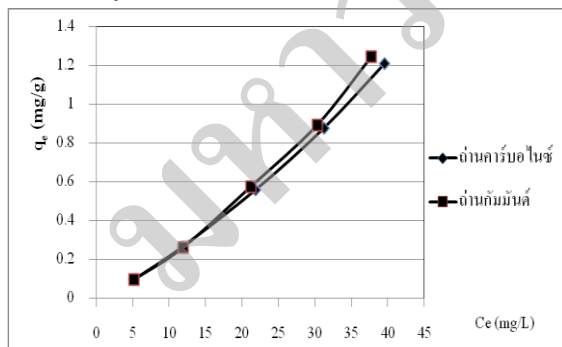
หมายเหตุ Error Bars ที่แสดงในกราฟ คือ \pm S.D (Standard Deviation) $n = 3$

จากรูป 1 พบว่าที่ค่าความเป็นกรดเบสของสารละลายเท่ากับ 4 จะให้ร้อยละการกำจัดสูงสุดทั้งถ่านกระตุ้นและถ่านคาร์บอนไนซ์ โดยถ่านกัมมันต์ให้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 85.81 ส่วนถ่านคาร์บอนไนซ์ให้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 80.80 ซึ่งความสามารถในการกำจัดจะลดลงเมื่อค่าความเป็นกรดต่างสูงกว่า 4 เนื่องจากโครเมียม (III) ไอออนจะจับกับ ไฮดรอกไซด์ของเบสที่เติมลงไป จนเกิดเป็นตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ และที่ค่าความเป็นกรดเบสต่ำกว่า 4 จะมีโปรตอนจำนวนมากเข้ามาปิดล้อมพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ทำให้โครเมียม (III) ไอออนเข้ายึดเกาะบนพื้นผิวและเกิดการดูดซับได้น้อยกว่าที่ค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 4 และจากการทดลองพบว่าเมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ปรับค่าความเป็นกรดเบสให้เป็นกลาง แล้วนำมาเติมสารละลายสารละลายโครเมียม (III) คลอไรด์ เข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตรแล้วสารละลายที่ได้จะมีความเป็นกรดเบสประมาณ 4.0 ดังนั้นในการดูดซับสารละลายโครเมียม (III) คลอไรด์ จึงไม่ต้องทำการปรับค่าความเป็นกรดเบส

4.5 การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโครเมียม (III) ไอออน

การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโครเมียม (III) ไอออนในการดูดซับของถ่านคาร์บอนไนซ์ และถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง เพื่อนำมาศึกษาความสัมพันธ์ในการดูดซับว่าเป็นไปตามไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ หรือฟรุนดลิช ผลการวิเคราะห์หาคำนวนค่าปริมาณการดูดซับ และค่าความเข้มข้นที่สมดุล C_e (mg/L) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (III) ไอออนระหว่างค่า q_e และ C_e ด้วยถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียม (III) ไอออน ในสารละลาย จาก 10 พีพีเอ็ม ไปจนถึง 100 พีพีเอ็ม พบว่าความสามารถในการกำจัด

โครเมียม (III) ไอออน เพิ่มมากขึ้น โดยดูจากค่า q_e ที่เพิ่มมากขึ้น และที่เลือกความเข้มข้นโครเมียม (III) ไอออนเท่ากับ 100 พีพีเอ็มซึ่งเป็นความเข้มข้นสุดท้ายเนื่องจากเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชั่นสเปกโตรมิเตอร์ที่มีความยาวคลื่น 429.0 นาโนเมตร เครื่องจะสามารถวัดความเข้มข้นได้แม่นยำในช่วงความเข้มข้นไม่เกิน 100 พีพีเอ็ม จึงทำการทดลองโดยใช้ความเข้มข้นของโครเมียม (III) ไอออนสูงสุดแค่ 100 พีพีเอ็ม

จากความสัมพันธ์ระหว่าง q_e และ C_e พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบไอโซเทอร์ม การดูดซับพบว่า การดูดซับโครเมียม (III) ไอออนบนพื้นผิวของถ่านทั้งสองชนิดจะเป็นแบบ Type II, III Isotherm (Weber, 1972) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การดูดซับที่มีชั้นของตัวดูดซับหนาขึ้นเรื่อยๆ เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น

4.6 ผลของความสัมพันธ์ในการดูดซับโครเมียม(III) ไอออนของถ่านคาร์บอนไนซ์ และถ่านกัมมันต์จาก ลูกหูกวางกับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์

จากการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านทั้งสองชนิด โดยนำผลที่ได้ไปศึกษาการดูดซับของสารละลายโครเมียม (III) ไอออนภายใต้สมมติฐานของไอโซเทอร์มฟรุนดลิชและไอโซเทอร์มแลงเมียร์โดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าการดูดซับที่สมดุล (q_e) และความเข้มข้นของไอโอดีนที่สมดุล (C_e) (Amin, 2008)

จากสมการเส้นตรงแสดงการดูดซับแบบของฟรุนดลิช

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (1)$$

เมื่อ K และ $1/n$ เป็นค่าคงที่ของฟรุนดลิชโดยสมมติฐานของไอโซเทอร์มฟรุนดลิช คือการดูดซับเป็นแบบหลายชั้นเมื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log C_e$ (แกน x) และค่า $\log q_e$ (แกน y) และพิจารณาความเป็นเส้นตรงจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เข้าใกล้ 1 และคำนวณ ค่า $1/n$ จากค่า

ความชันและค่า K จากจุดตัดแกน y ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3

จากสมการเส้นตรงแสดงการดูดซับแบบของ แลงเมียร์

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{KQ_0C_e} + \frac{1}{Q_0} \quad (2)$$

ค่า K คือค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ ค่า Q_0 คือการดูดซับสูงสุด (mg/g) โดยสมมุติฐานของไอโซเทอร์ม แลงเมียร์ จัดเป็นกลไกการดูดซับเป็นชั้นเดียว จากสมการการดูดซับของแลงเมียร์ สามารถสร้างกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/C_e$ (แกน x) และค่า $1/q_e$ (แกน y) โดยจะพิจารณาความเป็นเส้นตรงจากค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เข้าใกล้ 1 และคำนวณ ค่า K จากค่าความชันและค่า Q_0 จากจุดตัดแกน y ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จากสมการการดูดซับของไอโซเทอร์มแลงเมียร์และ ฟรุนดิช

ชนิดสารดูดซับ	ตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จากสมการการดูดซับ					
	ไอโซเทอร์มแลงเมียร์			ไอโซเทอร์มฟรุนดิช		
	Q_0 (mg/g)	K (L/mg)	R^2	K (L/mg)	1/n	R^2
ถ่านคาร์บอนไนซ์จากลูกหวาก	-1.696	-50.685	0.9125	0.0122	1.2450	0.9998
ถ่านกัมมันต์จากลูกหวาก	-1.466	-52.244	0.9435	0.0115	1.2801	0.9990

จากไอโซเทอร์มแลงเมียร์ พบว่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.9125 และ 0.9435 ตามลำดับ แสดงว่าถ่านทั้ง 2 ชนิดมีค่า R^2 ไม่เข้าใกล้ 1 และค่า Q_0 และค่า K_L มีค่าติดลบ แสดงว่าถ่านทั้ง 2 ชนิดไม่สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแลงเมียร์ จึงไม่สามารถอธิบายได้ด้วยไอโซ เทอร์มแลงเมียร์

จากกราฟไอโซเทอร์มฟรุนดิช พบว่า ค่า R^2 ของถ่านคาร์บอนไนซ์ และถ่านคาร์บอนไนซ์จากลูกหวาก มีค่า เท่ากับ 0.9998 และ 0.9990 ตามลำดับ แสดงว่าถ่าน ทั้ง 2 ชนิดมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 ซึ่ง สอดคล้องกับไอโซ เทอร์มฟรุนดิช ซึ่งแสดงว่ากลไกการดูดซับ โครเมียม

(III) ลงบนพื้นผิวของถ่านคาร์บอนไนซ์เป็นแบบหลายชั้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลที่ได้จากรูปที่ 2

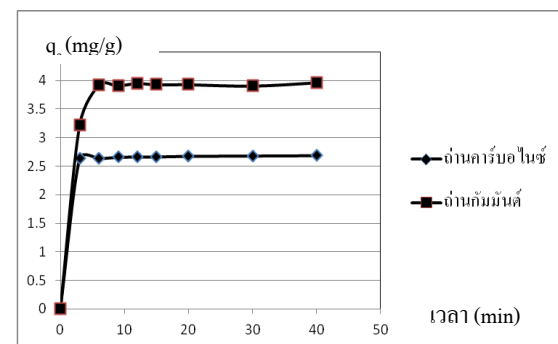
โดยเมื่อพิจารณาค่า 1/n มีค่า เท่ากับ 1.2450 และ 1.2801 ซึ่งค่า 1/n มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ามีบริเวณ พื้นผิวของตัวดูดซับที่จะใช้ในการดูดซับมีปริมาณมาก หรือการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน สามารถเกิดได้ บนพื้นผิวของถ่านทั้งสองชนิดได้หลายชั้น

4.7 ผลของจลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ด้วยถ่านคาร์บอนไนซ์ ถ่านกัมมันต์จากลูกหวากโดยใช้ แบบจำลอง Pseudo-First Order และ Pseudo-Second Order

ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับ โครเมียม (III) ไอออน โดยใช้แบบจำลอง Pseudo-First Order และ Pseudo-Second Order นำค่า q_e และเวลา (min) เขียน

ตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จากสมการการดูดซับ

กราฟ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_e และเวลา (min)

จากผลการทดลองพบว่าถ่านคาร์บอนไนซ์ ใช้เวลา 3 นาที และถ่านกัมมันต์ ใช้เวลา 5 นาที ก็สามารถดูดซับโครเมียม (III) ไอออนได้สูงสุดจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปค่า q_e จะคงที่ หลังการเติมสารละลายโครเมียม (III) ลงในถ่านกัมมันต์ สามารถเข้าสู่สมดุลการดูดซับตั้งแต่ 3 นาทีแรก ไม่สามารถทำการทดลองที่เวลาต่ำกว่า 3 นาทีได้ เนื่องจากต้องเสียเวลาในการเทสารและย้ายลงไปไนเครื่องเขย่า และเมื่อเทสารละลายโครเมียม (III) ไอออนลงในสารตัวอย่างจะเกิดการดูดซับโครเมียม (III) ได้ทันที สำหรับถ่านกัมมันต์การดูดซับเข้าสู่สมดุลที่เวลา 5 นาที ช้ากว่าถ่านคาร์บอนไนซ์ น่าจะเกิดจากการที่ถ่านกัมมันต์มีรูพรุนที่มากกว่าถ่านคาร์บอนไนซ์ที่ทำให้โครเมียม(III) ไอออนต้องใช้เวลาในการเดินทางเข้าไปในรูพรุนนั้น ๆ

สมการของ Pseudo-First Order คือ

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (\text{Tan, 2007})$$

จากสมการของ Pseudo-First Order สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า t (แกน x) และค่า $\ln(q_e - q_t)$ (แกน y) โดยคำนวณหาค่าความชัน ($-k_1$) และจุดตัดแกน y ($\ln q_e$)

จากสมการของ Pseudo-Second Order สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า t (แกน x) และค่า t/q_e (แกน y) โดยคำนวณหาค่าความชัน $1/q_e$ และจุดตัดแกน y ($1/(k_2 q_e^2)$)

สมการของ pseudo-second order คือ

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

จากสมการของ Pseudo-Second Order สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า t (แกน x) และค่า t/q_e (แกน y) โดยคำนวณหาค่าความชัน $1/q_e$ และจุดตัดแกน y ($1/(k_2 q_e^2)$)

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 นาที ค่า q_e ของการดูดซับของถ่านทั้งสองชนิดจะมีค่าค่อนข้างคงที่ โดย ถ่านคาร์บอนไนซ์จะคงที่อยู่ที่ประมาณ 2.67 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์จะคงที่อยู่ที่ประมาณ 3.97 มิลลิกรัมต่อกรัม หมายความว่าค่า t/q_e จะแปรผันตรงกับค่า t ดังนั้นแสดงว่าค่า R^2 จะเข้าใกล้ 1 เสมอ ดังนั้นจึงหมายความว่า ถ้าการดูดซับ เป็นลักษณะแบบนี้ จลนศาสตร์การดูดซับเป็นการดูดซับแบบ Pseudo-Second Order เสมอ

จากค่าความชันและจุดตัดแกน y สามารถคำนวณค่าตัวบ่งชี้ได้ดังแสดงในตารางที่ 4

สำหรับการศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม(III) ไอออนของถ่านทั้ง 2 ชนิด ไม่สอดคล้องกับ Pseudo-First Order เนื่องจาก R^2 ไม่เข้าใกล้ 1 จลนศาสตร์การดูดซับ โครเมียม (III) ไอออนของถ่านทั้ง 2 ชนิด สอดคล้องกับ Pseudo-Second Order เนื่องจากค่า R^2 เข้าใกล้ 1 ค่าปริมาณการดูดซับที่สภาวะสมดุล (q_e) ที่ได้จากการคำนวณกับค่าปริมาณการดูดซับที่สภาวะสมดุล (q_e) ที่ได้จากการทดลอง มีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4 แสดงตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จากสมการ Pseudo-First Order และ Pseudo-Second Order ของการดูดซับ โครเมียม(III) ไอออน

ชนิดถ่าน	$q_{e, \text{exp}}$ (mg/g)	Pseudo-First Order			Pseudo-Second Order		
		$q_{e, \text{cal}}$ (mg/g)	k_1	R^2	$q_{e, \text{cal}}$ (mg/g)	k_2	R^2
ถ่านคาร์บอนไนซ์	2.69	0.078	0.0825	0.970	2.69	3.01	1.000
ถ่านกัมมันต์	3.97	0.174	0.0822	0.988	3.98	0.85	0.999

สำหรับผลการทดลองเกี่ยวกับค่าคงที่อัตรา พบว่า ถ่านคาร์บอนไนซ์ มีค่าคงที่อัตราอันดับสอง เป็น 3.01 ซึ่งมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีค่าคงที่อัตราอันดับสอง เป็น 0.85 ทั้งนี้เป็นเพราะถ่านกัมมันต์ถูกกระตุ้นให้มีรูพรุนมากกว่าด้วยการใช้ KOH มีพื้นผิวสัมผัสมากกว่าจึงใช้เวลามากกว่าในการจับโครเมียม (III) ไอออน ทำให้อัตราการดูดซับน้อยกว่า ค่าคงที่อัตราจึงน้อยกว่า

จากผลการทดลองทำให้ทราบความสามารถในการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ของถ่านทั้งสองชนิด สามารถดูดได้อย่างรวดเร็วภายใน 3 – 5 นาทีแรกก็สามารถดูดโครเมียม (III) ไอออนได้จนเกือบหมด ซึ่งจริง ๆ แล้วอาจจะดูดได้เร็วกว่านี้ถ้าสามารถทำการทดลองได้เร็วกว่า 3 นาที

4.8 ผลของการดูดซับโครเมียม (III) ไอออนในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD โดยเปรียบเทียบระหว่างถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางและถ่านกัมมันต์การค้า

การดูดซับโครเมียม (III) ไอออนในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD โดยเปรียบเทียบระหว่าง ถ่านคาร์บอนไนซ์ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางและถ่านกัมมันต์การค้า ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม(III) ไอออน ในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD ด้วยถ่านคาร์บอนไนซ์ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางและถ่านกัมมันต์การค้า

ชนิดของถ่าน	q_s (mg/g)	SD
ถ่านคาร์บอนไนซ์	2.56	1.25
ถ่านกัมมันต์	4.64	0.89
ถ่านกัมมันต์การค้า(Fluka 50120)	0.61	0.25

ถ่านคาร์บอนไนซ์ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง และถ่านกัมมันต์การค้า สามารถกำจัดโครเมียม (III) ไอออนต่อ ปริมาณถ่าน เท่ากับ 2.56, 4.64 และ 0.61 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งถ่านกัมมันต์การค้ามี

ความสามารถในการกำจัดต่ำกว่าถ่านคาร์บอนไนซ์ และถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง เพราะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์การค้ามีคาร์บอนเป็นจำนวนมาก เนื่องจากถูกเผาที่อุณหภูมิสูงภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ทำให้หมู่คาร์บอนิลหลุดออกไปเป็นจำนวนมาก เหลือแต่คาร์บอนเป็นจำนวนมาก ทำให้ดูดซับโครเมียม (III) ไอออนในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD ได้น้อยกว่าถ่านจากลูกหูกวาง

5. บทสรุป

ในการผลิตถ่านคาร์บอนไนซ์จากลูกหูกวาง เพื่อใช้ในการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ควรใช้ อุณหภูมิในการเผาลูกหูกวางที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่สั้นกว่าการคาร์บอนไนซ์เพื่อกำจัดโมเลกุลไม่มีขั้ว โดยในถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์ จะมีหมู่ -OH และหมู่ C=O ที่ใช้ในการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ส่วนการกระตุ้นถ่านคาร์บอนไนซ์จากลูกหูกวาง ให้กลายเป็นถ่านกัมมันต์ด้วย KOH กระตุ้นที่ 400 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเป็นการเพิ่มรูพรุนและพื้นที่ผิวให้แก่ถ่าน

ส่วนกลไกการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน สอดคล้องกับไอโซเทอร์มฟรุนดลิชพบว่าถ่านคาร์บอนไนซ์ และถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง มีกลไกการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน บนพื้นผิวของถ่าน เป็นแบบหลายชั้น เมื่อพิจารณาจากค่า $1/n$ แสดงให้เห็นว่ามีพื้นผิวของตัวดูดซับที่จะใช้ในการดูดซับมีปริมาณมาก หรือการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน สามารถเกิดได้บนพื้นผิวของถ่านทั้งสองชนิดได้หลายชั้น จลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม (III) ไอออน สอดคล้องกับ pseudo-second order การดูดซับโครเมียม (III) ไอออนในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD พบว่าถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง มีความสามารถในการกำจัดโครเมียม (III) ไอออนต่อ ได้มากกว่าถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 50120)

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิตที่
ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย และภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัย
รังสิต ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย สถานที่ในการ
ทดลองตลอดจนอนุเคราะห์สารเคมี รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ
ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

ปัญญา มณีจักร. (2554). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูก

หูกวาง. (วิจัย) ปทุมธานี: ภาควิชาเคมี คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.

Amin, N. K. (2008). Removal of reactive dye from
aqueous solutions by adsorption onto
activated carbons prepared from sugarcane
bagasse pith. *Desalination* 223: 152-161.

Tan, I. A. W. et al. (2007). Equilibrium and kinetic
studies on basic adsorption by oil palm
fibre activated carbon. *Chemical Engineering
Journal* 127: 111-119.

Weber, W. J. Jr. (1972). *Physicochemical Process for
Water Quality Control*. Wiley Interscience.
USA, pp. 117-119.