

# การเตรียมและการปรับปรุงถ่านกัมมันต์จากลูกหุกวางแผนเพื่อการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน

Preparation and Modification of Activated Carbon from the Seed of Terminalia Catappa for Removal of Chromium (III) ion

ปัญญา มนีจักร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยรังสิต

E-mail : panya.m@rsu.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์จากลูกหุกวางแผน สำหรับใช้เป็นสารดูดซับโครเมียม (III) ไอออน โดยถ่านคาร์บอนไนซ์สามารถเตรียมได้จากการเผาลูกหุกวางแผนที่อุณหภูมิต่างๆ (300 400 และ 500 องศาเซลเซียส) ในระยะเวลาต่างๆ กัน (1 2 และ 3 ชั่วโมง) จากนั้นกรองถ่านคาร์บอนไนซ์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ด้วยอัตราส่วนต่างๆ แล้วนำไปเผากระดับที่อุณหภูมิและระยะเวลาเดียวกัน พบร่วงภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านคาร์บอนไนซ์คือเผาที่ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและสภาพที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือใช้ถ่านคาร์บอนไนซ์ต่อ KOH อัตราส่วน 1 ต่อ 1 เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สภาวะนี้ให้คำความสามารถในการดูดซับโครเมียม (III) สูงที่สุด จากนั้นศึกษาถลอกไกด์ดูดซับโดยใช้แบบจำลองของ แลงเมียร์และฟรุนเดลิพบว่า ทั้งถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสมพัทธ์ ( $R^2$ ) เข้าใกล้ 1 เมื่อใช้แบบจำลองฟรุนเดลิช แสดงว่าการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ของถ่านทั้งสองชนิดเป็นหลายขั้น จากการศึกษาจนคาดการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน พบร่วงสอดคล้องกับ pseudo-second order และจากการศึกษาเทอร์โมไดนาไมก์ส พบร่วงว่าการดูดซับโครเมียม (III) คงทนพื้นผิวของถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์เป็นแบบคายความร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าการดัดแปลงถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้ด้วย  $KMnO_4$  สามารถเพิ่มความสามารถในการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 50120)

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์, ถ่านกัมมันต์ดัดแปลง, โครเมียม (III) ไอออน

## ABSTRACT

This research studied the preparation of carbonized and activated carbons 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 difference temperature (300 400 and 500 0C) for varied time

(1 2 and 3 hours). The obtained carbon was then activated by chemical activation using potassium hydroxide (KOH) as an activating agent with different ratios. The best condition for preparing the carbonized carbon was 500 °C for 1 hour. To produce the activated carbon, one to one ratio of carbonized carbon to KOH was found to be the optimum condition under 400 °C for 3 hours. Using the Langmuir and Freundlich absorption models, it was found that both carbonized and activated carbons showed  $R^2$  approaching to one when Freundlich model was applied. The adsorption kinetics was found to follow the pseudo-second-order kinetic model. Thermodynamic study using different temperatures indicated that adsorption of chromium (III) ion onto sorbent surface is exothermic. Furthermore the modification by using potassium permanganate ( $KMnO_4$ ) could increase ability to adsorb chromium (III) ion. The adsorption capacity was confirmed to be higher than the commercially available one (Fluka 50120).

**KEYWORDS :** Activated Carbon, Modified Activated Carbon , chromium (III) ion

## บทนำ

โลหะหนักจัดเป็นปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ โลหะหนักเป็นสารที่คงตัวเมื่อเบริญเที่ยบกับสารอินทรีย์ จึงไม่สามารถถ่ายตัวได้เองในกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งโลหะหนักที่ถูกปล่อยออกมามากในใหญ่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ขาดระบบการกำจัดโลหะหนัก หรือประสิทธิภาพของระบบกำจัดที่ไม่ดีพอ ด้วยอย่างของโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โครเมียม ตะกั่ว proto และเมียม ทองแดง เป็นต้น ซึ่งการกำจัดโลหะหนักจะมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

โครเมียมที่ปล่อยมากับน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมมีวิธีการบำบัด หลากหลายกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการตกรตะกอนโดยใช้สารเคมี กระบวนการแยกโดยใช้เยื่อแผ่นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนและกระบวนการดูดซับโดยปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆ คือสิ่นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ปัญหาของการตกรตะกอนคือต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมี และหลังการตกรตะกอนต้องกำจัดจากการตกรตะกอนที่เกิดขึ้น ปัญหาของกระบวนการแยกโดยใช้เยื่อแผ่น คือ จะต้องใช้แรงดันสูง เพราะเกิดการอุดตันของโลหะที่ผิวเยื่อแผ่นและค่าสารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาด ปัญหาของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน คือต้องใช้เรชินเป็นตัวแลก

เปลี่ยนไอออนซึ่งมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในขณะที่การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่มีความเหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก มีข้อดีคือไม่ต้องมีการเติมสารเคมีลงในน้ำเสีย ใช้เงินลงทุนน้อย ใช้เวลาในการบำบัดไม่นาน ไม่ปล่อยพื้นที่ สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิและความดันบรรยายกาศ ด้วยดูดซับที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปัจจุบันโลหะหนักจากอุตสาหกรรมได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งปัจจุบันมีการทำการวิจัยศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้หลายชนิด

แหล่งที่มาของโครเมียม (III) ไอออนที่สำคัญ คือน้ำเสียที่ได้จากการวิเคราะห์ค่า COD (Chemical Oxygen Demand) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำที่นิยมในการวิเคราะห์ค่า COD ในน้ำทิ้งจะใช้สารละลายไปแพสเชียมได้โครเมต (Potassium dichromate:  $K_2Cr_2O_7$ ) เป็นสารออกซิไดซ์ โดยจะเปลี่ยนจาก โครเมียม (VI) เป็น โครเมียม (III) ซึ่งในน้ำเสียที่ได้จากการวิเคราะห์ COD จะมีปริมาณ โครเมียม (III) ไอออน อยู่ประมาณ 1000 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นปริมาณที่มาก และยังมีโลหะอื่นอิกในปริมาณไม่มาก เช่น โลหะเงิน proto และเหล็กเป็นต้น โดยปกติห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำจะเก็บรวมน้ำทั้งที่ได้จากการวิเคราะห์ COD แล้วนำส่งไปบำบัดที่บริษัทรับจ้างบำบัดของเสียอันตรายซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ดังนั้นผู้จัดจึงมีแนวคิด

ที่จะนำบัดน้ำทึบที่ได้จากการวิเคราะห์ COD เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการส่งไปบำบัดที่อื่น

แนวคิดในการนำลูกทุกวงมาทำเป็นถ่านกัมมันต์  
คือลูกทุกวงจะผลิตพลอตห้ามปี และลูกทุกวงยังนำมาใช้  
ประโยชน์ได้น้อย ผู้คนจึงไม่สนใจ ดังนั้นถ้าเก็บรวบรวมมา  
ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์จะเกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น อีกประเด็น  
หนึ่งคือ การผลิตถ่านกัมมันต์จะต้องใช้วัสดุที่มีการบอน  
เป็นองค์ประกอบจำนวนมาก ถ้าจะต้องตัดต้นไม้มาทำถ่าน  
กัมมันต์จะไม่เหมาะสม ดังนั้นถ้าเลือกผลิตถ่านกัมมันต์จาก  
ผลผลิตที่ไม่เป็นประโยชน์ของต้นไม้น่าจะเป็นทางออกที่ดี  
ต้นไม้ก็ยังคงให้ร่มเงาและยังลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์  
ช่วยลดปะการງการโลกร้อนได้อีกด้วยหนึ่ง ซึ่งจากการวิจัย  
ในเบื้องต้นพบว่า ลูกทุกวงมีปริมาณอินทรีย์สารบอนคงด้า  
ร้อยละ 20 (ปัญญา, 2554) ดังนั้น จึงนำเอาลูกทุกวง  
มาทำให้เกิดประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจโดยการ  
นำเข้ามาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

ในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางการค้าจะผลิตโดยการเผาที่อุณหภูมิสูงภายในเตาบรรจุอากาศของก๊าซในโถเรجنซีทำให้ตันทุนในการผลิตสูง ซึ่งจะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้สามารถดูดซับสารประเททไม่เลกคลุไม่มีข้าวได้ดี ผู้รับจึงมีแนวคิดที่จะใช้การเผาถ่านด้วยเทคโนโลยีห้องบ้าน คือ เผาที่อุณหภูมิประมาณ  $550^{\circ}\text{C}$  และอับอากาศ แล้วทำการกระดุนเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีสภาพขั้วบนพื้นที่ผิวเป็นแบบมีข้าวมากขึ้น คุณท้ายจะให้สารออกซิไดเร็ปเลี่ยนหมูฟังก์ชันนัลบนพื้นที่ผิวของถ่านให้สามารถดูดซับโครงเมียม (III) ได้ดีขึ้น

งานวิจัยนี้ จะทำการพัฒนาการผลิตถ่านคาร์บอนในชีว  
ให้เหมาะสมกับการคุ้ดชับโครเมียม (III) ไอโอน โดยจะเลือก  
อุณหภูมิและเวลาในการเผาให้เหมาะสมกับการคุ้ดชับและจะ  
นำถ่านคาร์บอนในชีวที่ผลิตได้มากระดับน้ำด้วยไปแพสเชียม  
ไฮดรอกไซด์ (*Potassium hydroxide*: KOH) และเลือก  
อัตราส่วนของการผสมของ KOH กับถ่าน โดยน้ำหนัก<sup>1</sup>  
อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการคุ้ดชับโครเมียม (III)  
ไอโอน ศึกษาความเป็นกรดเบสที่เหมาะสมในการคุ้ดชับ  
โครเมียม (III) ไอโอน จากนั้นดัดแปลงหมู่ฟังก์ชันลับนพันพื้นที่  
ผิวด้วยไปแพสเชียมเปอร์แมกานเนต ( $KMnO_4$ ) ศึกษา  
หมู่ฟังก์ชันลับนพันพื้นที่ผิวนองถ่านคาร์บอนในชีวที่ผลิตได้หากสามารถ

ศึกษากลไกการดูดซับแบบแลงเมียร์หรือฟรุนดิช ศึกษา  
จนศาสตร์การดูดซับของถ่านว่าเป็นแบบจำลองปฏิกิริยา  
อันดับหนึ่งหรืออันดับสอง ศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์ของ  
การดูดซับของถ่าน และศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโดยเมียม  
(III) ไอกอน ในน้ำทึบจากการวิเคราะห์ค่า COD ด้วยถ่าน  
คาร์บอนในถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์ดัดแปลงโดยเบรียบเทียบ  
กับถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 05120)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากถั่วทุกวงเพื่อดูดซับไฮโดรเจนเมเทน (III) ไอโอน
  2. เพื่อศึกษาสภาพะที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิระยะเวลาในการเผา และความเป็นกรดเบส ในการดูดซับโลหะหนักไฮโดรเจนเมเทน (III) ไอโอน ด้วยถ่านกัมมันต์
  3. เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับไฮโดรเจนเมเทน (III) ไอโอน ด้วยการดัดแปลงรูปแบบพื้นผิวของถ่านกัมมันต์โดยใช้สารออกซิไดซ์  $KMnO_4$
  4. เพื่อศึกษาผลของการดูดซับ เทอร์โมไดนามิกส์ และจลนศาสตร์การดูดซับไฮโดรเจนเมเทน (III) ไอโอน ด้วยถ่านกัมมันต์จากถั่วทุกวง
  5. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนเมเทน (III) ไอโอน ด้วยถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ดัดแปลงและถ่านคาร์บอนไนซ์จากถั่วทุกวง โดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ การค้า (Fluka 05120)

## วิธีการดำเนินวิจัย

## 1. วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ ลูกหุ่งวง  
จากอ่าวເກອນທະລັກໝໍ ຈັງຫວັດຕະປະເກເຊ ແລະ ຄ່ານກັມມັນຕໍ  
ກາຮັກ (Fluka 05120) ພິລີດຈາກບຣິ່ນທີ່ Sigma Aldrich  
ກາຮັກດູດຂັບໂຄຣເມີຍມ (III) ໂອອນ ໂດຍໃຫ້ສາຮະລາຍ  
ໂຄຣເມີຍມ (III) ໂອອນ ເງັ້ນຂັນ 100 ພືພືອົມ 10 ມີລີລິຕິຣ ໃຫ້  
standard Cr 1000 mg/L ( $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ) ໃນ 0.5 mol/L  $\text{HNO}_3$ ,  
MERCK ໂດຍໃຫ້ອັດຕາເຮົວໃນກາຮັກປັ້ນກວນ 150 ຮອບຕ່ອນທີ່  
ເປັນເວລາ 30 ນາທີ

## 2. การวิเคราะห์โคโรเมียม(III) ไออ่อน

วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิค แบบซอร์พชัน สเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption spectrometer, SpectraAA, PerkinElmer) ที่ความยาวคลื่น 429.0 นาโนเมตร

## 3. การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเผาถ่านคาร์บอนในซี

นำลูกหุ่งดากแห้ง 1 วัน นำไปป้อนໄล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 120 นาที นำลูกหุ่งดากใส่ในภาชนะสแตนเลส ปิดฝา เพาด้วยเทาเผาขึ้นดับอากาศที่อุณหภูมิ 300 400 และ 500 °C เป็นเวลา 60 120 และ 180 นาที ตามลำดับ บดถ่านให้มีขนาดเล็กกว่า 50 mesh (325 m) แล้วนำถ่านที่ได้มารวมกับโคโรเมียม(III) ไออ่อน

## 4. ศึกษาหมู่ฟังก์ชันนัลของถ่านคาร์บอนในซีด้วยเครื่องวิเคราะห์ทำหมู่ฟังก์ชันนัล (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR, Perkin Elmer spectrum 100)

โดยส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยรังสิต

## 5. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านต่อ KOH ในการผลิต ถ่านกัมมันต์จากลูกหุ่งดาก

นำถ่านคาร์บอนในซีที่เผาด้วยอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมมาด้วยมีขนาด < 38 μm (400 mesh) ชั่งถ่านคาร์บอนในซีและ KOH ในอัตราส่วน 1:1 1:2 1:3 (น้ำหนัก: น้ำหนัก) ละลาย KOH ด้วยน้ำ DI ผสมกับถ่าน นำไปป้อนໄล่ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปเผาตุนที่อุณหภูมิ 300 400 และ 500 °C ระยะเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมงนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาปรับสภาพให้เป็นกลางด้วย 0.6 M HCl และ 0.6 M KOH จนมีค่าความเป็นกรดเบส ประมาณ 7 นำถ่านกัมมันต์ไปหาประสิทธิภาพในการดูดซับโคโรเมียม(III) ไออ่อน

## 6. การศึกษาหาค่าความเป็นกรดเบสที่เหมาะสมของการดูดซับโคโรเมียม(III) ไออ่อน ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

นำถ่านกัมมันต์ที่เผาตุนที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 180 นาที 0.50 กรัม ปีเปตสารละลายโคโรเมียม(III) ไออ่อน เทิร์นอิน 100 พีพีเอ็ม ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรดเบสของสารละลายเป็น 2 3 4 และ

## 5 นำไปเขย่าแล้วนำสารละลายส่วนใส่ตราช้าบริมาณโคโรเมียมที่เหลือ

### 7. การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

ชั่งถ่านกัมมันต์และถ่านคาร์บอนในซีอย่างละ 0.25 กรัม ปีเปตสารละลายโคโรเมียม(III) ไออ่อน เทิร์นอิน 10 25 50 75 และ 100 พีพีเอ็ม ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร นำไปเขย่าแล้วนำสารละลายส่วนใส่ที่ได้ไปตราช้าบริมาณโคโรเมียมที่เหลือ

## 8. การศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับโคโรเมียม(III) ไออ่อน

ชั่งถ่านคาร์บอนในซีจากลูกหุ่งดาก 0.25 กรัม และถ่านกัมมันต์จากลูกหุ่งดาก 0.125 กรัม ปีเปตสารละลายโคโรเมียม(III) คลอร์ไรด์ เทิร์นอิน 100 พีพีเอ็ม ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร นำไปเขย่า เป็นเวลา 3 6 9 12 15 20 30 และ 40 นาที นำสารละลายส่วนใส่ที่ได้ไปตราช้าบริมาณโคโรเมียมที่เหลือ

## 9. การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์การดูดซับโคโรเมียม(III) ไออ่อน

ชั่งถ่านคาร์บอนในซีและถ่านกัมมันต์อย่างละ 0.5 กรัม ปีเปตสารละลายโคโรเมียม(III) เทิร์นอิน 25 50 75 และ 100 พีพีเอ็ม ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร นำไปเขย่า โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30 40 และ 50 °C นำสารละลายส่วนใส่ที่ได้ไปตราช้าบริมาณโคโรเมียมที่เหลือ

### 10. การดัดแปลงถ่านกัมมันต์

นำถ่านกัมมันต์หนัก 10 กรัม เติมสารละลาย  $\text{KMnO}_4$  ปริมาณมากเกินพอ แล้วถ่านกัมมันต์ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ล้างตะกรอนด้วยน้ำ DI จนสารละลายใส่ไม่มีสี นำถ่านกัมมันต์ดัดแปลงที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 120 นาที จากนั้นศึกษาหมู่ฟังก์ชันนัลของถ่านคาร์บอนในซี ถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์ดัดแปลงด้วยเครื่องวิเคราะห์ทำหมู่ฟังก์ชันนัล

## 11. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโคโรเมียม(III) ไออ่อน ถ่าน

ชั่งถ่านกัมมันต์ ถ่านคาร์บอนในซี ถ่านกัมมันต์ ดัดแปลงจากลูกหุ่งดาก และถ่านกัมมันต์การค้า อย่างละ 0.25 กรัม ปีเปตน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD ที่จีจางลง 10 เท่า (COD มีโคโรเมียม(III) ไออ่อน ประมาณ 1000



พีพีเอ็ม) บริมาตรา 10.00 มิลลิลิตร นำไปเขย่าแล้วนำสารละลายส่วนใส่ที่ได้ไปตรวจหาปริมาณโคโรเมียมที่เหลือ

## ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

### 1. อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านคาร์บอนิล

อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนิล ลูกหุ่นภาวะให้เป็นถ่าน เพื่อทดสอบที่เหมาะสมในการคุณดับชับ โคโรเมียม (III) ไอโอนผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละการกำจัดโคโรเมียม (III) ไอโอน ของถ่านคาร์บอนิลที่เผาที่สภาวะต่างๆ

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

จากการทดลองพบว่า เวลาและอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการคาร์บอนิล ลูกหุ่นภาวะให้เป็นถ่านคาร์บอนิลคือที่ อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งสามารถกำจัด โคโรเมียม (III) ได้สูงที่สุดคือ 97.36% เมื่อเปรียบเทียบ กับงานวิจัยที่ทำก่อนหน้า ซึ่งศึกษาการเตรียมถ่านคาร์บอนิล เพื่อคุณดับชับไอโอดีน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือเตรียมที่ 500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ปัญญา, 2554)

ที่อุณหภูมิ 500 °C คาร์บอนจะเกิดปฏิกิริยา การเผาไหม้กับอากาศ หมู่คาร์บอนิลจะแตกตัวออกจาก โครงสร้างของถ่าน เมื่อการเผาให้เหล่านี้หมู่คาร์บอนิล จะหลุดออกจากการสร้างได้มากขึ้น ถ่านจะมีความเป็นกราไฟต์มากยิ่งขึ้น ถ่านคาร์บอนิลจะมีความมีขั้นตอนอย่าง คุณดับชับสารพากโนเมลามีนข้าว เช่น ไอโอดีน ได้ดี

ในทางตรงข้ามเมื่อการเผาให้เหล่านี้อยู่กับ แสงหมู่คาร์บอนิล จะหลุดออกจากการสร้างได้น้อยลง ถ่านคาร์บอนิลจะมีความมีขั้นตอนอย่าง คุณดับชับสารพากโนเมลามีนข้าว หรือ ไอโอนได้ดีขึ้น (ปัญญา, 2555)

### 2. ศึกษาหมู่ฟังก์ชันนลับนพื้นที่ผิวของถ่าน คาร์บอนิล

นำถ่านคาร์บอนิลไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันนลับนพื้นผิวด้วยเครื่อง FT-IR พบว่าเกิดพีคที่บริเวณ  $3500\text{ cm}^{-1}$   $2900\text{ cm}^{-1}$   $2400\text{ cm}^{-1}$   $1700\text{ cm}^{-1}$  และ  $200-300\text{ cm}^{-1}$  แสดงว่ามีหมู่ -OH CH-stretching possibly aromatic aldehyde C=O และ CH-bending ในทุกๆ อุณหภูมิ และระยะเวลา แสดงว่าถ่านคาร์บอนิลที่ผลิตได้ มีหมู่ฟังก์ชันนลับที่สามารถคุณดับชับโนเมลามีนข้าว และไอโอนได้ (ปัญญา, 2555)

### 3. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่าน คาร์บอนิลต่อ KOH ในการผลิตถ่านกัมมันต์จาก ลูกหุ่นภาวะ

ผลการกระดุนแสดงดังตารางที่ 2 โดยค่า  $q_e$  ค่าการคุณดับชับที่สมดุลหน่วยเป็น mg/g คำนวนจากปริมาณ โคโรเมียม (III) ไอโอน ที่ถูกคุณดับชับเป็น mg ต่อน้ำหนักถ่าน 1 g

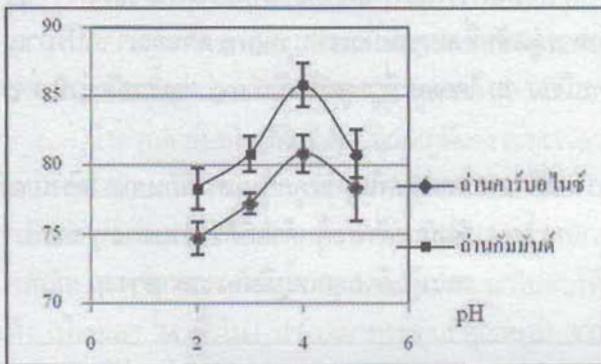
ตารางที่ 2 แสดงผลในการคุณดับชับโคโรเมียม (III) ของถ่าน กัมมันต์ที่กระดุนด้วยอัตราส่วนต่างๆ และเพา กระดุนด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	$q_e$ (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 การกระดูนด้วยอัตราส่วนถ่านต่อ KOH เป็น 1 ต่อ 1 และเพาท์อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สามารถคุดชับโครเมียม (III) ไอโอนได้สูงที่สุด คือ มีค่าความสามารถการคุดชับ ( $q_g$ ) เท่ากับ 3.87 มิลลิกรัมต่อกรัม แต่เนื่องจากในขั้นตอนการล้างหลังการเผากระดูน พบร้า น้ำซึ่งล้างมีสีน้ำตาลเข้มเนื่องจากมีสารลิกนินและแทนนินซึ่งเผาไหม้ไม่หมด ละลายไปเป็นมาก จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการล้างนาน จึงเลือกการกระดูนด้วยอัตราส่วนถ่านต่อ KOH เป็น 1 ต่อ 1 และทำการเผาที่อุณหภูมิ  $400^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่มีค่าความสามารถการคุดชับ ( $q_g$ ) เท่ากับ 3.85 มิลลิกรัมต่อกรัม เพราะมีความสามารถการคุดชับได้รองลงมา แต่การล้างทำได้ยังยากกว่า ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าลิกนินและแทนนินถูกเผาทำลายไป ซึ่งยืนยันได้จากการที่น้ำล้างจากถ่านที่เผากระดูนที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}\text{C}$  จะไม่มีสี

#### 4. การศึกษาหาค่าความเป็นกรด-เบสของสภาวะการคุดชับที่เหมาะสม

##### ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงความสามารถในการคุดชับโครเมียม (III) ไอโอน ที่ pH ต่างๆ หมายเหตุ Error Bars ที่แสดงในกราฟ คือ SD (Standard Deviation)  $n = 3$

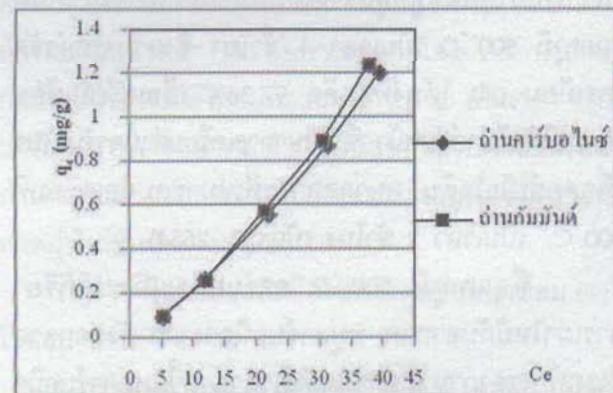
จากรูปที่ 1 พบร้าว่าที่ค่าความเป็นกรดเบสของสารละลายเท่ากับ 4 จะให้รอยละการกำจัดสูงสุดทั้งถ่านกระดูนและถ่านคาร์บอไนซ์ โดยถ่านก้อนมันต์ให้รอยละการคุดชับเท่ากับ 85.81 ส่วนถ่านคาร์บอไนซ์ให้รอยละการคุดชับเท่ากับ 80.80 ซึ่งความสามารถในการกำจัดจะลดลงเมื่อค่าความเป็นกรดต่างสูงกว่า 4 (Jamil, 2008.) เนื่องจากที่ค่าความเป็นกรดเบสประมาณ 4 โครเมียม(III)

ไอโอน จะอยู่ในรูป  $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$  และ  $\text{Cr}_3(\text{OH})_4^{5+}$  มากที่สุด ซึ่งคุดชับได้ดีบนพื้นที่ผิว ที่ค่าความเป็นกรดเบสต่ำกว่า 4 จะมีprotoionจำนวนมากเข้ามาปิดล้อมพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านก้อนมันต์ ทำให้โครเมียม (III) ไอโอนเข้ายึดเกาะบนพื้นผิวและเกิดการคุดชับได้น้อย ที่ค่าความเป็นกรดเบสประมาณ 4 - 6 โครเมียม(III) ไอโอนในรูป  $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$  และ  $\text{Cr}_3(\text{OH})_4^{5+}$  จะลดลง และจะเปลี่ยนมาอยู่ในรูป  $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$  ที่ค่าความเป็นกรดเบสมากกว่า 6 โครเมียม (III) ไอโอนจะตกตะกอนในรูป  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  และ  $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$  (Fahim, 2006) และจากการทดลองพบว่าเมื่อนำถ่านก้อนมันต์ที่เตรียมได้มาล้างและปรับค่าความเป็นกรดเบสให้จนเป็นกลาง แล้วนำมาเติมสารละลายสารละลายโครเมียม (III) ไอโอนเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตรแล้วสารละลายที่ได้จะมีความเป็นกรดเบสประมาณ 4.0 ดังนั้นในการคุดชับสารละลายโครเมียม (III) ไอโอน จึงไม่ต้องทำการปรับค่าความเป็นกรดเบส

#### 5. การศึกษาไอโซเทอมการคุดชับโครเมียม (III) ไอโอน

การศึกษาบริมาณความเข้มข้นของโครเมียม (III) ไอโอนในการคุดชับของถ่านคาร์บอไนซ์ และถ่านก้อนมันต์ จากคลุกหูกวาง เพื่อนำมาศึกษาความสามารถสัมพันธ์ในการคุดชับ ว่าเป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์หรือฟรุนเดิช

ผลการวิเคราะห์ไปคำนวนค่าบริมาณการคุดชับที่สมดุล  $q_e$  ( $\text{mg/g}$ ) และค่าความเข้มข้นที่สมดุล  $C_e$  ( $\text{mg/L}$ ) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการค่าการคุดชับโครเมียม (III) ไอโอนระหว่างค่า  $q_e$  และ  $C_e$  ด้วยถ่านคาร์บอไนซ์และถ่านก้อนมันต์จากคลุกหูกวาง

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียม (III) ไอออน ในสารละลายนานา 10 พีพีเอ็มไปจนถึง 100 พีพีเอ็ม พบว่าความสามารถในการกำจัดโครเมียม (III) ไอออน เพิ่มมากขึ้น โดยดูจากค่า  $q_e$  ที่เพิ่มมากขึ้น

จากความสัมพันธ์ระหว่าง  $q_e$  และ  $C_e$  พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบไฮโซเทอมการดูดซับ พบว่า การดูดซับโครเมียม (III) ไอออนบนพื้นผิวของถ่านหั้งสองชนิดจะเป็นแบบ Type II, III Isotherm (Weber, 1972) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การดูดซับที่มีขั้นของตัวดูดซับหนาขึ้นเรื่อยๆ เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น

จากการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านหั้งสองชนิดโดยนำผลที่ได้ไปศึกษาถูกใช้ในการดูดซับของสารละลายน้ำและไอโซเทอมและเมียร์โดยใช้ความสัมพันธ์ของ  $q_e$  และ  $C_e$  (Amin, 2008)

จากสมการเส้นตรงแสดงการดูดซับแบบของฟรุนดิช

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

เมื่อ  $K$  และ  $1/n$  เป็นค่าคงที่ของฟรุนดิชโดยสมบูรณ์ของไฮโซเทอมฟรุนดิช คือ กลไกการดูดซับเป็นแบบหลายชั้นเมื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\log C_e$  (แกน x) และค่า  $\log q_e$  (แกน y) และพิจารณาความเป็นเส้นตรงจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เข้าใกล้ 1 และค่า  $n$  จากค่าความชันและค่า  $K$  จากจุดตัดแกน y ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงตัวบ่งชี้ที่ค่านวนได้จากสมการการดูดซับของไฮโซเทอมและเมียร์และฟรุนดิช

จากสมการเส้นตรงแสดงการดูดซับแบบของแลนเมียร์

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

ค่า  $K$  คือค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ ค่า  $Q_0$  คือการดูดซับสูงสุด (mg/g) โดยสมมุติฐานของไฮโซเทอมแลนเมียร์ จัดเป็นกลไกการดูดซับเป็นขั้นเดียว จากสมการการดูดซับของแลนเมียร์ สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $1/C_e$  (แกน x) และค่า  $1/q_e$  (แกน y) โดยจะพิจารณาความเป็นเส้นตรงจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เข้าใกล้ 1 และค่า  $n$  จากค่าความชันและค่า  $Q_0$  จากจุดตัดแกน y ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

จากไฮโซเทอมแลนเมียร์ พบว่า  $R^2$  มีค่า เท่ากับ 0.9125 และ 0.9435 ตามลำดับ แสดงว่าถ่านหั้ง 2 ชนิดมีค่า  $R^2$  ไม่เข้าใกล้ 1 และค่า  $Q_0$  และค่า  $K$  มีค่าติดลบ แสดงว่าถ่านหั้ง 2 ชนิดไม่สอดคล้องกับไฮโซเทอมแลนเมียร์ จึงไม่สามารถอธิบายได้ด้วยไฮโซเทอมแลนเมียร์

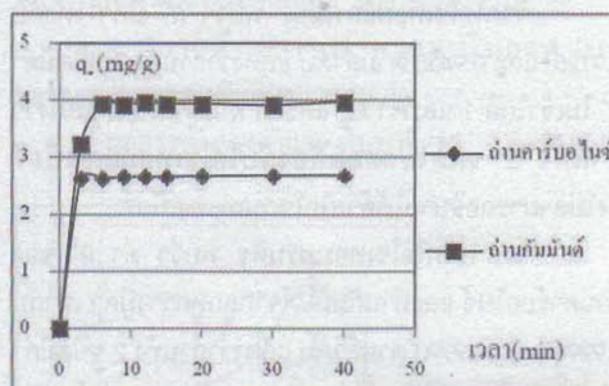
จากการฟิตไฮโซเทอมฟรุนดิช พบว่า ค่า  $R^2$  ของถ่านคาร์บอนในร์ และถ่านกัมมันต์จากคุณภาพมีค่า เท่ากับ 0.9998 และ 0.9990 ตามลำดับ แสดงว่าถ่านหั้ง 2 ชนิดมีค่า  $R^2$  เข้าใกล้ 1 และค่า  $n$  มีค่าติดลบ แสดงว่าถ่านหั้ง 2 ชนิด สอดคล้องกับไฮโซเทอมฟรุนดิช ซึ่งแสดงว่ากลไกการดูดซับโครเมียม (III) ลงบนพื้นผิวของถ่านหั้ง 2 ชนิดเป็นแบบหลายชั้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 2

ชนิดสารดูดซับ	ตัวบ่งชี้ที่ค่านวนได้จากสมการการดูดซับ					
	ไฮโซเทอมแลนเมียร์			ไฮโซเทอมฟรุนดิช		
	$Q_0$ (mg/g)	K (L/mg)	$R^2$	K (L/mg)	$1/n$	$R^2$
ถ่านคาร์บอนในร์จากคุณภาพ	-1.696	-50.685	0.9125	0.0122	1.2450	0.9998
ถ่านกัมมันต์จากคุณภาพ	-1.466	-52.244	0.9435	0.0115	1.2801	0.9990

โดยเมื่อพิจารณาค่า  $1/k$  มีค่า เท่ากับ 1.2450 และ 1.2801 ซึ่งค่า  $1/k$  มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ามีบริเวณพื้นผิว ของตัวดูดซับที่จะใช้ในการดูดซับมีปริมาณมาก หรือ การดูดซับໂครเมียม (III) ไอออน สามารถเกิดได้บนพื้นผิว ของถ่านหั้งสองขันดีได้หลายชั้น

6. ผลของจำนวนศาสตร์การดูดซับໂครเมียม (III) ไอออนด้วยถ่านคาร์บอนในชั้นถ่านกัมมันต์จากลูกหุ้กวาง โดยใช้แบบจำลอง pseudo-first order และ pseudo-second order

ศึกษาจำนวนศาสตร์การดูดซับໂครเมียม (III) ไอออน โดยใช้แบบจำลอง pseudo-first order และ pseudo-second order นำค่า  $q_e$  และเวลาในหน่วยนาที เ肄์กราฟ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $q_e$  และเวลา (min)

จากการทดลองพบว่าถ่านคาร์บอนในชั้น ใช้เวลา 3 นาที และถ่านกัมมันต์ ใช้เวลา 5 นาที ที่สามารถดูดซับ ໂครเมียม (III) ไอออนได้สูงสุดจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปค่า  $q_e$  จะคงที่ หลังการเติมสารละลายໂครเมียม (III) ลงในถ่านหั้ง 2 ขันสามารถเข้าสู่สมดุลการดูดซับตั้งแต่ 3-5 นาทีแรก ไม่สามารถทำการทดลองที่เวลาต่ำกว่า 3 นาทีได้ เนื่องจาก ต้องเสียเวลาในการเทสารและย้ายลงไปในเครื่องเบี่ยง แล้วเมื่อเทสารละลายໂครเมียม (III) ไอออนลงในสารตัวอย่าง จะเกิดการดูดซับໂครเมียม (III) ได้ทันที สำหรับถ่านกัมมันต์ การดูดซับเข้าสู่สมดุลที่เวลา 5 นาที ข้างต้นถ่านคาร์บอนในชั้น

น่าจะเกิดจากการที่ถ่านกัมมันต์มีรูพรุนที่มากกว่าถ่าน คาร์บอนในชั้นที่ทำให้ໂครเมียม (III) ไอออนต้องใช้เวลาในการเดินทางเข้าไปในรูพรุนนั้นๆ

สมการของ pseudo-first order คือ (Tan, 2007)

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

จากสมการของ pseudo-first order สามารถสร้าง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $t$  (แกน x) และค่า  $\ln(q_e - q_t)$  (แกน y) โดยค่านวนหาค่าความชัน ( $-k_1$ ) และจุดตัดแกน y ( $\ln q_e$ )

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 สามารถ สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $t$  (แกน x) และค่า  $t/q_t$  (แกน y) โดยค่านวนหาค่าความชัน ( $1/q_e$ ) และจุดตัดแกน y ( $1/(k_2 q_e^2)$ )

จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 นาที ค่า  $q_e$  ของการดูดซับของถ่านหั้งสองขันนี้จะมีค่า ค่อนข้างคงที่ โดย ถ่านคาร์บอนในชั้นคงที่อยู่ที่ประมาณ 2.67 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์คงที่อยู่ที่ประมาณ 3.97 มิลลิกรัมต่อกรัม หมายความว่าค่า  $t/q_t$  จะแปรผันตรง กับค่า  $t$  ดังนั้นแสดงว่า ค่า  $R^2$  จะเข้าใกล้ 1 เสมอ ดังนั้นจึง หมายความว่าถ้าการดูดซับ เป็นลักษณะแบบนี้ จำนวนศาสตร์ การดูดซับเป็นการดูดซับแบบ pseudo-second order เสมอ จากค่าความชันและจุดตัดแกน y คำนวนค่าตัวบ่งชี้ ดังแสดง ในตารางที่ 4

สำหรับการศึกษาจำนวนศาสตร์การดูดซับໂครเมียม (III) ไอออนของถ่านหั้ง 2 ขันดี ไม่สอดคล้องกับ pseudo-first order เนื่องจาก  $R^2$  ไม่เข้าใกล้ 1 จำนวนศาสตร์การดูดซับ ໂครเมียม (III) ไอออนของถ่านหั้ง 2 ขันดี สอดคล้องกับ pseudo-second order เนื่องจากค่า  $R^2$  เข้าใกล้ 1 ค่าประมาณ การดูดซับที่สภาวะสมดุล ( $q_s$ ) ที่ได้จากการคำนวนกับค่า ปริมาณการดูดซับที่สภาวะสมดุล ( $q_s$ ) ที่ได้จากการทดลอง มีค่าที่ใกล้เคียงกัน



**ตารางที่ 4** แสดงตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จากสมการ pseudo-first order และ pseudo-second order ของการดูดซับโครงเมียม (III) ไอโอนด้วยถ่านคาร์บอนิซ์และกัมมันต์จากลูกหุ่งวัง

ชนิดถ่าน	pseudo-first order				pseudo-second order		
	$q_{e\ exp}$ (mg/g)	$q_{e\ cal}$ (mg/g)	$k_1$	$R^2$	$q_{e\ cal}$ (mg/g)	$k_2$	$R^2$
ถ่านคาร์บอนิซ์	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 พบร้า ถ่านคาร์บอนิซ์ค่าคงที่อัตราอับดับสอง เป็น 3.01 ซึ่งมากกว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าคงที่อัตราอันดับสองเป็น 0.85 ทั้งนี้เป็น เพราะถ่านกัมมันต์ถูกกระตุ้นให้มีรูพูนมากกว่าด้วยการใช้ KOH จึงทำมีพื้นผิวสัมผัสมากกว่าจึงใช้เวลามากกว่าในการจับโครงเมียม (III) ไอโอน ทำให้อัตราการดูดซับน้อยกว่า ค่าคงที่อัตราจึงน้อยกว่า

จากการทดลองทำให้ทราบความสามารถในการดูดซับโครงเมียม (III) ไอโอน ของถ่านหั้งสองชนิด สามารถดูดได้อよ่างรวดเร็วภายใน 3 - 5 นาทีแรกสามารถดูดโครงเมียม (III) ไอโอนได้จนเกือบทหมด ซึ่งจริงๆ แล้วอาจจะดูดได้เร็วกว่านี้ถ้าสามารถทำการทดลองได้เร็วกว่า 3 นาที

#### 7. การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์ในการดูดซับโครงเมียม (III)

ศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์ในการดูดซับโครงเมียม (III) โดยใช้ถ่านคาร์บอนิซ์และถ่านกัมมันต์จากลูกหุ่งวังที่สภาวะที่เหมาะสมเป็นตัวดูดซับ นำถ่านกัมมันต์จากลูกหุ่งวังปริมาณ 0.5 กรัมไปดูดซับสารละลายโครงเมียม (III) เข้มข้น 25 50 75 และ 100 พีพีเอ็ม ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร เขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้อุณหภูมิในการเรย่า 30 40 และ 50 °C

การคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงエネทอลปี ( $\Delta H^\circ$ ) เอนโทรปี ( $\Delta S^\circ$ ) และพลังงานอิสระของกิบส์ ( $\Delta G^\circ$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$K_d = \frac{C_o - C_e}{C_e}$$

$$G^\circ = -RT \ln K_d$$

$$G^\circ = \frac{S^\circ}{R} - \frac{H^\circ}{RT}$$

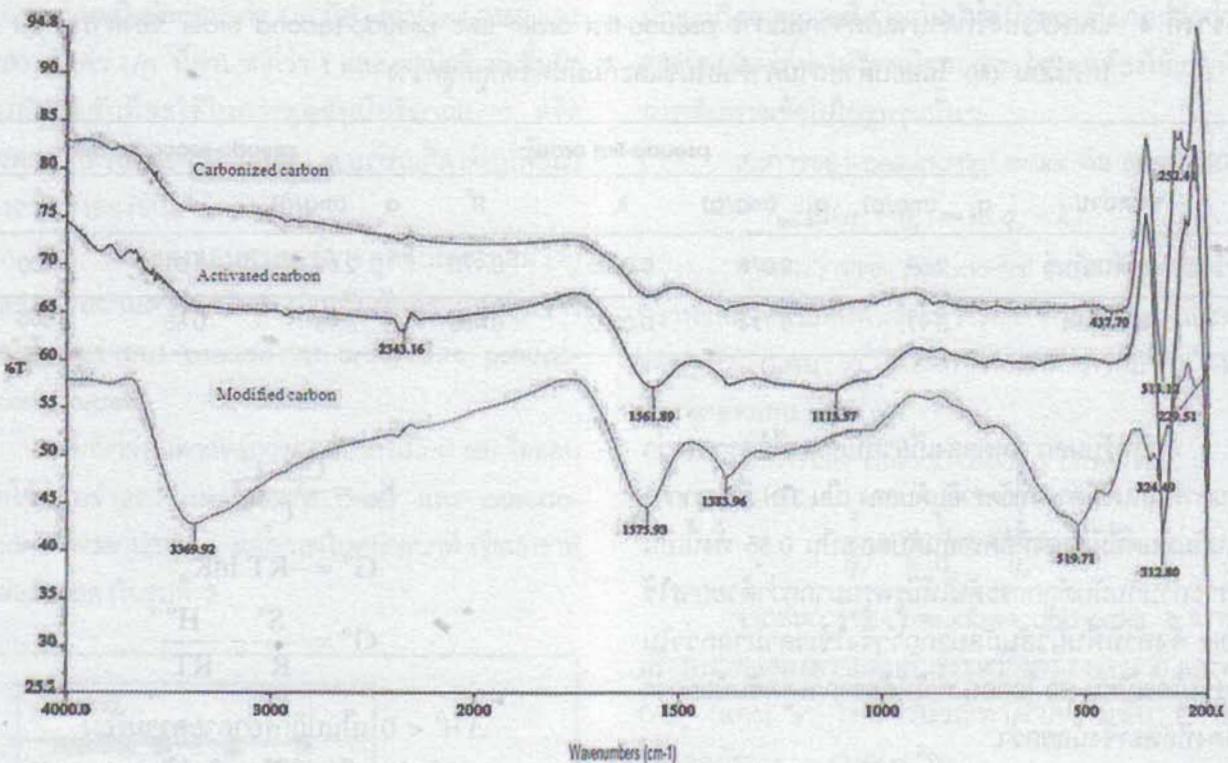
$\Delta H^\circ < 0$  เป็นปฏิกิริยาด้วยความร้อน

$\Delta G^\circ < 0$  เป็นปฏิกิริยาเกิดได้เอง

โดยค่า  $T$  คืออุณหภูมิหน่วยเคลวิน ( $K$ ) ค่า  $R$  คือ  $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$   $C_o$  และ  $C_e$  (mg/L) คือ ความเข้มข้นของโครงเมียม (III) ไอโอนก่อนและหลังการดูดซับตามลำดับ เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง  $\Delta G^\circ$  กับ  $1/T$  ถ้าได้กราฟเส้นตรง  $R^2 = 1$  ค่าความชันเท่ากับ

$$\frac{H^\circ}{R} \text{ และจุดตัดแกน } y \text{ เท่ากับ } \frac{S^\circ}{R}$$

จากการทดลองนำมาเขียนกราฟเทอร์โมไดนามิกส์ การดูดซับโครงเมียม (III) ของถ่านคาร์บอนิซ์ และถ่านกัมมันต์จากลูกหุ่งวังแล้วนำมารวบรวมค่า  $R^2$  พบร้าค่าไม่เข้าใกล้ 1 จึงไม่สามารถคำนวณค่า  $\Delta H^\circ$  และเอนโทรปี  $\Delta S^\circ$  ล้วนการคำนวณค่า  $\Delta G^\circ$  สามารถคำนวณได้จากสมการข้างต้น พบร้า  $\Delta G^\circ$  มีเครื่องหมายเป็นลบทุกอุณหภูมิและทุกความเข้มข้นแสดงว่ากระบวนการการดูดซับโครงเมียม (III) ลงบนพื้นผิวของถ่านคาร์บอนิซ์ และถ่านกัมมันต์สามารถเกิดได้เอง แต่มีพิจารณาค่า  $\Delta H^\circ$  ที่คำนวณได้จากการพบร้าได้ค่าเป็นลบแสดงว่ากระบวนการการดูดซับโครงเมียม (III) ไอโอน ลงบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เป็นแบบด้วยความร้อน



รูปที่ 4 แสดงพีคของ การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ของถ่านคาร์บอไนซ์ ถ่านกัมมันต์และถ่านดัดแปร

#### 8. ผลการดัดแปรถ่านกัมมันต์ด้วย $KMnO_4$

จากการนำถ่านคาร์บอไนซ์ ถ่านกัมมันต์และถ่านดัดแปร ไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันลับนพีนผิวด้วยเครื่อง FT-IR ได้พีค ดังภาพ

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR พบว่าเกิดพีคที่บริเวณ  $3500\text{ cm}^{-1}$ ,  $2900\text{ cm}^{-1}$ ,  $2400\text{ cm}^{-1}$ ,  $1700\text{ cm}^{-1}$  และ  $200-300\text{ cm}^{-1}$  แสดงว่ามีหมู่  $-OH$ , CH-stretching, possibly aromatic aldehyde, C=O และ CH-bending โดยในถ่านคาร์บอไนซ์และถ่านกัมมันต์จะมีหมู่  $-OH$  และหมู่ C=O น้อยกว่าถ่านที่ผ่านการดัดแปรแล้ว

การดุดชับไฮเมียม (III) จะใช้แรงที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชันลพีนข้าสูง เช่น  $-OH$ , C=O ซึ่งเมื่อผ่านการดัดแปรแล้วจะเห็นว่าเกิดหมู่ฟังก์ชันลพีนลดลงกล่าวเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การดุดชับไฮเมียม (III) เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองการปรับปรุงหมู่ฟังก์ชันลับนพีนผิวด้วยถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มความสามารถในการดุดชับไฮเมียม (III) ที่ได้ผลการดุดชับของถ่านที่ผ่านการดัดแปรแล้วมีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์และถ่านคาร์บอไนซ์

#### 9. ผลของการดุดชับไฮเมียม (III) ไอกอนในน้ำทึ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD โดยเปรียบเทียบระหว่างถ่านคาร์บอไนซ์ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ดัดแปรจากลูกหุ้วะ และถ่านกัมมันต์การค้า

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดไฮเมียม (III) ไอกอนในน้ำทึ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD ด้วยถ่านคาร์บอไนซ์ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ดัดแปรจากลูกหุ้วะ และถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 50120)

ชนิดของถ่าน	$\alpha\theta(\text{mg/g})$	SD
ถ่านคาร์บอไนซ์	2.56	1.25
ถ่านกัมมันต์	4.64	0.89
ถ่านกัมมันต์ดัดแปร	8.10	1.02
ถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 50120)	0.61	0.25



ถ่านคาร์บอไนซ์ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ดัดแปลงจากลูกหุ่กว้าง และถ่านกัมมันต์การค้า สามารถกำจัดครอเมียม (III) ไอออนต่อ บริมาณถ่าน เท่ากับ 2.56 4.64 8.10 และ 0.61 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งถ่านกัมมันต์การค้ามีความสามารถในการกำจัดต่ำกว่าถ่านคาร์บอไนซ์ และถ่านกัมมันต์จากลูกหุ่กว้าง เพราะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์การค้ามีคาร์บอนเป็นจำนวนมาก เนื่องจากถูกเผาที่อุณหภูมิสูง กายได้บรรยายกาศของไนโตรเจน ทำให้หมู่คาร์บอนลิฟลูด ออกไปเป็นจำนวนมาก เหลือแต่คาร์บอนเป็นจำนวนมาก ทำให้คุณภาพของถ่านจากการค้าลดลง

จะเห็นว่าความสามารถในการคุณภาพของถ่านคาร์บอไนซ์ ของถ่านเหลังจากผ่านการดัดแปลง ถ่านมีความสามารถในการกำจัดครอเมียม (III) ไอออน มากกว่าถ่านกัมมันต์ และถ่านคาร์บอไนซ์ ซึ่งน่าจะเกิดจากการออกซิเดชันด้วย  $\text{KMnO}_4$  ซึ่งจะไปเปลี่ยนพันธะคู่ ( $\text{C}=\text{C}$ ) ไปเป็นหมู่ไดออก ( $\text{HO}-\text{C}-\text{C}-\text{OH}$ ) เปลี่ยนหมู่ไอกซิลให้เป็นหมู่คาร์บอนลิฟ และเปลี่ยนหมู่อัลดีไซด์ให้เป็นหมู่คาร์บอนลิฟ ซึ่งทำให้ความสามารถในการคุณภาพของถ่านคาร์บอไนซ์ (III) ไอออนเกิดได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันนัลด้วยเครื่อง FT-IR (Baccar, 2009)

ส่วนความสามารถในการคุณภาพของถ่านคาร์บอไนซ์ ไอออน ของถ่านกัมมันต์สูงกว่าถ่านคาร์บอไนซ์ เนื่องจากถ่านกัมมันต์ถูกกระตุนด้วย KOH ทำให้เกิดรูปทรงมากขึ้น ทำให้มีพื้นที่ผิวในการคุณภาพของถ่านคาร์บอไนซ์ (III) ไอออนมากขึ้น จึงสามารถคุณภาพของถ่านคาร์บอไนซ์ (III) ไอออนได้ดีกว่าถ่านคาร์บอไนซ์

## สรุปผลการวิจัย

ในการผลิตถ่านคาร์บอนไนซ์จากลูกหุ่กว้าง เพื่อใช้ในการคุณภาพของถ่านคาร์บอไนซ์ ไอออน ควรใช้อุณหภูมิในการเผาลูกหุ่กว้างที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่สนับสนุนการคุณภาพของถ่านคาร์บอไนซ์เพื่อกำจัดไม้เล็กน้อยที่สุด และถ่านกัมมันต์จะมีหมู่  $-\text{OH}$  และหมู่  $\text{C}=\text{O}$  ที่ใช้ในการคุณภาพของถ่านคาร์บอไนซ์ (III) ไอออน ส่วนการกระตุนถ่านคาร์บอไนซ์จากลูกหุ่กว้างให้ถูกต้องเป็นถ่านกัมมันต์ด้วย KOH กระตุนที่ 400 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเป็นการเพิ่มรูปทรง และพื้นที่ผิวให้แก่ถ่าน

ส่วนกลไกการคุณภาพของครอเมียม (III) ไอออน สอดคล้องกับไฮโซเทอร์มฟรุนดิชพบว่าถ่านคาร์บอไนซ์ และถ่านกัมมันต์จากลูกหุ่กว้าง มีกลไกการคุณภาพของครอเมียม (III) ไอออน บนพื้นผิวของถ่าน เป็นแบบหลายชั้น เมื่อพิจารณาจากค่า  $1/k$  แสดงให้เห็นว่ามีพื้นผิวของตัวคุณภาพที่จะใช้ในการคุณภาพของถ่านมีปริมาณมาก หรือการคุณภาพของครอเมียม (III) ไอออน สามารถเกิดได้บนพื้นผิวของถ่านทั้งสองชนิดได้หลายชั้น จนศาสตราจารย์คุณภาพของครอเมียม (III) ไอออน สอดคล้องกับ pseudo-second order เทอร์โมไดนามิกส์ของการคุณภาพ พบว่า การคุณภาพของครอเมียม (III) ไอออนสามารถเกิดได้เมื่อบาดาลพื้นผิวของถ่านและการคุณภาพของครอเมียม (III) ไอออนน่าจะเป็นการคุณภาพแบบด้วยความร้อน การคุณภาพของครอเมียม (III) ไอออนในน้ำทึ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD พบร้าถ่านกัมมันต์ดัดแปลงจากลูกหุ่กว้าง มีความสามารถในการกำจัดครอเมียม (III) ไอออน ได้มากกว่าถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 50120) และถ่านกัมมันต์จากลูกหุ่กว้าง

การเผาถ่านคาร์บอไนซ์และการกระตุนถ่านด้วย KOH ที่อุณหภูมิไม่เกิน 500 °C รวมทั้งการดัดแปลงถ่านกัมมันต์ด้วย  $\text{KMnO}_4$  สามารถเพิ่มความสามารถในการคุณภาพของถ่านคาร์บอไนซ์ (III) ไอออน ได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์การค้า

## ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นเพียงการทดลองเบื้องต้นถึงความสามารถในการคุณภาพของถ่านกัมมันต์ให้มีประสิทธิภาพ ดีกว่าถ่านกัมมันต์การค้า แต่ยังไม่ได้ดำเนินต่อเนื่องที่แท้จริงในการผลิต ซึ่งจากการทดลองทำให้ทราบว่าการดัดแปลงงานวิจัยนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ งานวิจัยในขั้นตอนต่อไป จะทำการผลิตและนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ ไอออน และค่านวนตันทุนการผลิตที่แท้จริงต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย และภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงาน สถานที่ในการทดลอง ตลอดจนอนุเคราะห์สารเคมี รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- ปัญญา มณีจักร. 2554. การเตรียมถ่านกัมมันต์จาก ลูกหูกวาง. (วิจัย) ปทุมธานี: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.
- ปัญญา มณีจักร. 2555. "การเตรียมถ่านกัมมันต์จาก ลูกหูกวาง." วารสารวิชาการ สมาคมสถาบัน อุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย. 18(1): 119-128.
- 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.
- Baccar, R. 2009. Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions. Journal of Hazardous Materials. 162: 1522-1529.
- Fahim, N. F. et al. 2006. Removal of chromium (III) from tannery waste water using activated carbon from sugar industrial waste. Journal of Hazardous Materials. B136: 303-309.
- Jamil, A. et.al. 2008. "Removal of chromium(II) and zinc(II) by using of pisum sativum (garden peas)." Journal of scientific research. XXXVIII(2): 15-21
- 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. 17-119.