

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกहुกวาง

Preparation of Activated Carbon from the Seed of Terminalia Catappa

ปัญญา มณีจักร์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกहुกวาง โดยถ่านคาร์บอนที่เตรียมได้จากการเผาลูกहुกวางที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ขณะที่ถ่านกัมมันต์เตรียมได้โดยการกระตุ้นถ่านคาร์บอนที่เตรียมได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวของการดูดซับในถ่านสังเคราะห์ทั้งสองชนิดด้วยเครื่องบลูเนอเอลเม็ท เทลเลอร์ (Brunauer Emmett Teller, BET) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ผลที่ได้สอดคล้องกันคือ พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านคาร์บอนที่มีขนาดเล็กกว่าถ่านกัมมันต์ งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ ขนาดของตัวดูดซับ ค่าความเป็นกรดต่าง อัตราเร็วรอบ และเวลาในการปั่นกวานที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ นอกจากนี้ได้ศึกษากลไกการดูดซับด้วยไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดิชของการดูดซับของสารละลายไอโอดีน จากกลไกการดูดซับไอโอดีน พบว่าค่า R^2 ของถ่านกัมมันต์จากลูกहुกวางสอดคล้องกับไอโซเทอร์มฟรุนดิช ซึ่งแสดงกลไกการดูดซับไอโอดีนเป็นแบบหลายชั้น ส่วนถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์การค้าจะมีค่า R^2 สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแลงเมียร์ แสดงว่ากลไกการดูดซับไอโอดีนเป็นแบบชั้นเดียว

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์ การดูดซับ ไอโซเทอร์ม

Abstract

This research aimed to study the preparation of activated carbon from *Terminalia catappa* seed. Carbonized carbon was prepared by heating *Terminalia catappa* seed at 500 °C for 2 hours. Activated carbon was then produced after carbonized carbon was activated by using sulfuric acid at 500 °C for 1 hour. Adsorption surface was analyzed by using both Brunauer Emmett Teller (BET) analysis and Scanning Electron Microscopy (SEM). The carbonized carbon possessed small specific surface area and porosity than that of activated carbon. Factors influencing adsorption efficiency (weight and size of absorbent, pH, stirring rate and time) were determined. The adsorption isotherm of Langmuir and Frundich were constructed from iodine adsorption experiments. It was found that activated carbon R^2 matching with Frundich isotherm suggested the multilayer adsorption, while those of carbonized and commercial activated carbon were monolayer with respect to the Langmuir adsorption isotherm.

Keywords: activated carbon, adsorption, isotherms

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการนำทรัพยากรต่างๆ มาใช้เป็นจำนวนมาก และก่อให้เกิดปัญหามลภาวะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลภาวะทางน้ำซึ่งนับวันปัญหาน้ำเน่าเสีย จะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นซึ่งเห็นได้จากปัญหาน้ำเสีย ในแม่น้ำ ลำคลอง แหล่งเกษตรกรรม หรือเขตนิคม อุตสาหกรรม โดยในน้ำเสียส่วนใหญ่จะพบโลหะหนัก และ สารเคมีอื่นๆ ปนเปื้อนอยู่ ซึ่งสารเหล่านี้จัดเป็นปัญหาสำคัญ ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ โลหะหนักเป็นสารที่คงตัวเมื่อเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ จึงไม่สามารถสลายตัวได้เองในกระบวนการทางธรรมชาติ ส่วนใหญ่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ขาดระบบการบำบัด หรือประสิทธิภาพของระบบบำบัดที่ไม่ดีพอ

ของเสียที่ปล่อยมากับน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมมี วิธีการบำบัด หลากหลายกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการ ตกตะกอนโดยใช้สารเคมี กระบวนการแยกโดยใช้ เยื่อ แผ่น กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนและกระบวนการดูดซับ โดยปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่าง ๆ คือ การสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและต้นทุนสูง ปัญหาของการ ตกตะกอนคือค่าสารเคมีที่ใช้ทำให้เกิดกากตะกอน และ ค่าการกำจัดกากตะกอน ปัญหาของกระบวนการแยกโดยใช้เยื่อแผ่นคือการใช้แรงดันสูง เพราะเกิดการอุดตันของ เยื่อแผ่น และค่าสารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาด ปัญหาของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน คือ การใช้เรซินเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งมีราคาแพงและ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในขณะที่การดูดซับเป็น กระบวนการที่มีความเหมาะสมในการกำจัดของเสีย โดยมี ข้อดีคือไม่ต้องมีการเติมสารเคมีลงในน้ำเสีย ใช้เงินลงทุน น้อย ใช้เวลาในการบำบัดไม่นาน ใช้สถานที่จำกัด สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ตัวดูดซับที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนจาก อุตสาหกรรม ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ แต่ถ่าน กัมมันต์ก็ยังมี ราคาแพง ปัจจุบันมีการทำการวิจัยศึกษาการผลิตถ่านกัม มันต์จากวัสดุเหลือใช้หลายชนิดเพื่อลดราคา (ปริญทร, 2551)

จากการสังเกตต้นหูกวางที่บริเวณตึกปฏิบัติการ เคมี คณะวิทยาศาสตร์ ลูกหูกวางจัดเป็นปัญหาต่อ สิ่งแวดล้อม โดยส่วนใหญ่เราจะพบว่าผู้คนนิยมปลูกต้นหูกวางไว้ในบริเวณต่างๆ เป็นจำนวนมากเพื่ออาศัยร่มเงา จากใบที่แพร่กระจายออกเป็นวงกว้าง แต่เมื่อต้นหูกวาง ออกผล ผลจะตกลงมาบนพื้น ซึ่งถ้าพิจารณาลูกหูกวางจะ พบว่าน่าจะมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูง จึงเกิดแนวคิดที่ จะนำเอาลูกหูกวางมาทำให้เกิดประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่า ทางเศรษฐกิจโดยการนำเอามาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่ง เป็นการผลิตถ่านจากผลซึ่งให้ผลทุกปี โดยที่ไม่ต้องไป ทำลายต้นเพื่อมาทำถ่าน

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการผลิตถ่านคาร์บอนซ์ และถ่านกัมมันต์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ ผลิตได้มีการดูดซับที่ดีที่สุด โดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ การค้า (Fluka 05120) ผ่านทางศึกษาประสิทธิภาพในการ ดูดซับ ขนาดของถ่าน อัตราเร็วรอบและในการปั่นกววน ด้วยการดูดซับไอโอดีน ขนาดพื้นที่ผิว และหมู่ฟังก์ชันนัลบน พื้นที่ผิวของถ่าน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับของ ถ่านกัมมันต์
4. เพื่อศึกษาขนาดของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม ต่อการดูดซับ
5. เพื่อศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์
6. เพื่อศึกษาภาพถ่ายขนาด และปริมาณรูพรุน ของถ่านคาร์บอนซ์ และถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ ลูกทูกวาง จากอำเภอกันทรลักษ์ จังหวัดศรีสะเกษ และถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 05120) ผลิตจากบริษัทSigma Aldrich

การดูดซับไอโอดีน โดยใช้สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.10 N 25 มิลลิลิตรอัตราเร็วในการปั่นกววน 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติโดยประมาณ

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และ ปริมาณคาร์บอนคงตัว ตามวิธีของ ASTM D2867-95, D2866 -94 (ASTM, 1998)

3.3 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเผาถ่านคาร์บอนไนซ์

นำลูกทูกวางตากแห้ง 1 วัน หลังจากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบแห้งชนิดควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 120 นาที นำลูกทูกวางใส่ในภาชนะสเตนเลส ปิดฝา เผาด้วยเตาเผาชนิดอับอากาศที่อุณหภูมิ 300 400 และ 500 °C เป็นเวลา 60 120 และ 180 นาที ตามลำดับ บดถ่านให้มีขนาดเล็กกว่า 50 mesh (325µm) แล้วนำถ่านที่ได้มาวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลู

3.4 การหาขนาดของถ่านคาร์บอนไนซ์ที่เหมาะสม

นำถ่านคาร์บอนไนซ์จากลูกทูกวางมาบดให้ละเอียด แล้วนำมาคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ

ขนาดที่เล็กกว่า 50 mesh (325µm) 200 mesh (75 µm) 325 mesh (45µm) และ 400 mesh (38µm) แล้วนำถ่านที่ได้มาวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน

3.5 การศึกษาหาอัตราส่วนของถ่านต่อสารละลายกรดที่เหมาะสมในการผลิตกัมมันต์

นำถ่านที่บดละเอียดแล้วผสมกับสารละลายกรดฟอสฟอริก หรือกรดซัลฟูริก เข้มข้น 50 % โดยน้ำหนัก ในอัตราส่วนของถ่านต่อสารละลายกรด ในอัตราส่วนต่าง ดังนี้ 1:1 1:2 1:3 1:4 1:5 1:6 และ 1:7 (น้ำหนัก:น้ำหนัก) นำไปเผา ที่อุณหภูมิ 300 400 และ 500 °C เป็นเวลา 60 120 และ 180 นาที ตามลำดับ แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน

3.6 การศึกษาหาค่าความเป็นกรด-เบส ที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์หลังจากการกระตุ้น

นำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นไปปรับค่าความเป็นกรดต่างของถ่านให้มีค่า pH เป็น 3 5 7 9 11 และที่ไม่ได้ปรับค่าความเป็นกรดต่าง หลังจากนั้นบดถ่านให้ละเอียด เพื่อวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน

3.7 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับไอโอดีน

ซึ่งถ่านคาร์บอนไนซ์ 0.50 – 7.0 กรัม ถ่านกัมมันต์จากลูกทูกวาง 0.25 – 4.0 กรัม และ ถ่านกัมมันต์การค้า 0.50 – 3.0 กรัม แล้วนำถ่านที่ได้มาวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน

3.8 การศึกษาระยะเวลาและอัตราเร็วรอบในการปั่นกววนที่เหมาะสมในการดูดซับไอโอดีน

ซึ่งถ่านคาร์บอนไนซ์ ถ่านกัมมันต์จากลูกทูกวาง และ ถ่านกัมมันต์การค้า 1.0, 0.5 และ 0.25 กรัมตามลำดับเติมไอโอดีนเข้มข้น 0.1 N จำนวน 25 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 90 120 และ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 60 90 และ 120 นาที แล้วนำถ่านที่ได้มาวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน

3.9 การศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากลูกทูกวาง

นำถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์ไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวเครื่องบลูเนอเอลเม็ท เทลเลอร์ (Brunauer Emmett Teller, BET, Quantachrome Autosorp-1C) โดยส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.10 การศึกษาภาพถ่ายของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM, HITACHI S-3400 N) โดยส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

3.11 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นที่ผิวของถ่านด้วยเครื่อง วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR, Perkin Elmer spectrum100) โดยส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยรังสิต

ขนาดของถ่านคาร์บอนไนซ์ (mesh)	ไอโอดีนนัมเบอร์ (mg/g)
50 - 200	132.62
200 - 325	137.12
325 - 400	149.11
เล็กกว่า 400	200.06

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 ผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณ

จากตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบค่าต่างๆที่ได้จากตาราง พบว่าลูกหูกวางมีความขึ้นค่อนข้างมาก สารระเหย ซึ่งมีปริมาณมากที่สุด แสดงว่าลูกหูกวางมีสารอินทรีย์ที่สามารถระเหยที่อุณหภูมิสูงอยู่มาก

ตารางที่ 1 แสดงการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของลูกหูกวางแบบประมาณ

4.2 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเผาถ่านคาร์บอนไนซ์

จากการศึกษาการดูดซับด้วยวิธีไอโอดีนนัมเบอร์และเมทิลีนบลูพบว่าทั้ง 2 วิธีให้สภาวะที่เหมาะสมในการเผาถ่านหูกวางให้เป็นถ่านตรงกัน โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์เท่ากับ 500 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการคาร์บอนไนซ์ 120 นาที ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความสามารถในการดูดซับของถ่านคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันด้วยวิธีไอโอดีนนัมเบอร์และ เมทิลีนบลูนัมเบอร์

อุณหภูมิ (°C) เวลา(นาที)	ไอโอดีนนัมเบอร์ (mg/g)			เมทิลีนบลูนัมเบอร์ (mg/g)		
	60	120	180	60	120	180
300	153.8	162.2	169.5	51.4	53.0	52.8
400	171.4	168.8	172.6	51.4	50.7	51.6
500	67.6	184.3	171.4	54.3	59.5	42.6

4.3 การหาขนาดของถ่านคาร์บอนไนซ์ที่เหมาะสม

การหาขนาดที่เหมาะสมที่ใช้ในการดูดซับไอโอดีน จะได้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านขนาดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านคาร์บอนไนซ์ขนาดต่าง ๆ

จากการศึกษาขนาดที่เหมาะสมที่ใช้ดูดซับไอโอดีน พบว่า ขนาดของถ่านคาร์บอนไนซ์จากลูกหูกวาง

สมบัติทางกายภาพ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
% ความชื้น	17.25
% เถ้า	3.46
% สารระเหย	59.65
% คาร์บอนคงตัว	19.64

ที่ดีที่สุด คือขนาดเล็กกว่า 400 mesh ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถ้านำขนาดของถ่านคาร์บอนไนซ์เล็กลง ค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อถ่านมีขนาดเล็กลงพื้นที่สัมผัสจะมากขึ้น ทำให้การดูดซับไอโอดีนได้ดีขึ้น

4.4 การศึกษาหาอัตราส่วนของถ่านต่อกรดที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์

การกระตุ้นถ่านโดยใช้อัตราส่วนของถ่านต่อกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักเท่ากับ 1:5 ที่อุณหภูมิ 500 °C เวลาในการกระตุ้น 180 นาที จะให้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนดีที่สุดเท่ากับ 202.24 mg/g

การกระตุ้นถ่านโดยใช้อัตราส่วนของถ่านต่อกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักเท่ากับ 1:3 ที่อุณหภูมิ 500 °C เวลาในการกระตุ้น 60 นาที จะให้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนดีที่สุดเท่ากับ 322.21 mg/g

ดังนั้นในการกระตุ้นถ่านจึงเลือกใช้อัตราส่วนของถ่านต่อกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักเท่ากับ 1:3 ที่อุณหภูมิ 500 °C เวลาในการกระตุ้นนาน 60 นาที

4.5 การศึกษาหาค่าความเป็นกรดเบสที่เหมาะสมของ ถ่านกัมมันต์หลังจากการกระตุ้น

เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาปรับค่าความเป็นกรดต่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับดังแสดงในรูปภาพที่ 1 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ปรับค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 มีสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับไอโอดีนดีที่สุด แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับค่าความเป็นกรดต่างมีสถานะใกล้เคียงกัน จึงเลือกสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับค่าความเป็นกรดต่างในการดูดซับ และค่าไอโอดีนนัมเบอร์มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักที่ค่าความเป็นกรดต่างต่าง ๆ กันนั้นแสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีน

4.6 การศึกษาระยะเวลาและอัตราเร็วรอบในการปั่นกวนที่เหมาะสมในการดูดซับไอโอดีน

พบว่าเมื่อนำถ่านทั้งสามชนิดมาดูดซับสารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.10 N ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร โดยใช้ระยะเวลาในการปั่นกวน 30 60 90 และ 120 นาที ความเร็วรอบในการปั่นกวน 90 120 และ 150 รอบ/นาที จะพบว่าความเร็วรอบในการปั่นกวนของถ่านทั้ง 3 ชนิดที่ดีที่สุด คือ 150 รอบ/นาที แต่ระยะเวลาในการปั่นกวน 30 60 90 และ 120 นาที ให้ผลการดูดซับไม่แตกต่างกันจึงเลือกระยะเวลาในการปั่นกวนเป็น 30 นาที เพื่อประหยัดเวลาในการทดลอง

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบให้มากขึ้น ทำให้ถ่านทั้งสามชนิดดูดซับไอโอดีนได้มากขึ้น แสดงว่า ความเร็วรอบทำให้ถ่านสัมผัสหรือชนกับไอโอดีนได้มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการปั่นกวนให้มากขึ้นไม่มีผลต่อการดูดซับมากนัก นั้นแสดงว่า ถ่านสามารถดูดไอโอดีนได้หมดตั้งแต่ 30 นาทีแรก หรือรูพรุนของถ่านกว้างแต่ไม่ลึก เนื่องจากการแพร่ภายในรูพรุนจะต้องใช้เวลามากกว่าการแพร่ที่ผิวหน้าของรูพรุน และเมื่อพิจารณาจากค่าไอโอดีน นัมเบอร์ พบว่า ถ่านกัมมันต์การค้ามีค่ามากที่สุด ประมาณ 800 – 1000 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง มีค่าประมาณ 420 – 490 มิลลิกรัมต่อกรัม และถ่านคาร์บอนซ์ จากลูกหูกวางมีค่าประมาณ 230 – 270 มิลลิกรัมต่อกรัม แสดงว่าถ่านกัมมันต์การค้าน่าจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าถ่านกัมมันต์

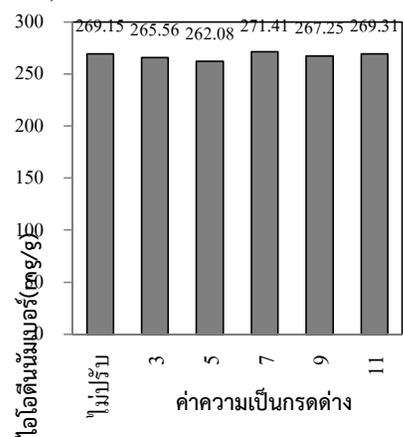
จากลูกหูกวาง สำหรับถ่านคาร์บอนซ์จากลูกหูกวางมีพื้นที่ผิวดำสุด

4.7 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับไอโอดีน

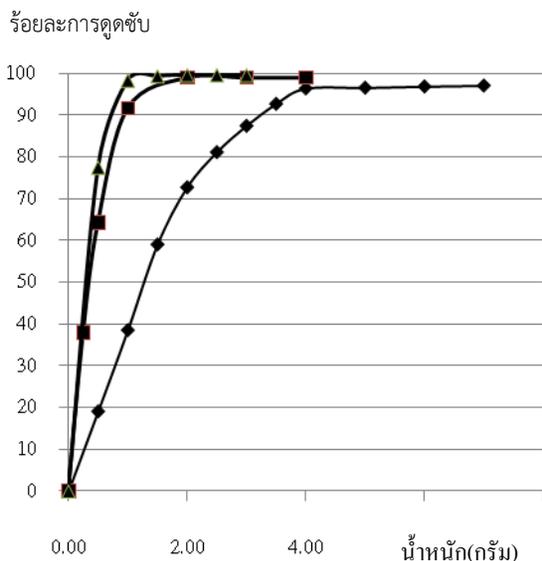
จากรูปภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านขึ้นร้อยละการดูดซับก็เพิ่มขึ้น จนกระทั่งร้อยละการดูดซับเท่ากับ 100 ในการดูดซับไอโอดีนเข้มข้น 0.10 N ปริมาตร 25 มิลลิลิตรนั้นจะต้องใช้ถ่านคาร์บอนซ์เท่ากับ 4.00 กรัม โดยร้อยละการดูดซับเท่ากับ 96.47 และมีไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 166.53 สำหรับ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง เท่ากับ 2 กรัม ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 95.79 และไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 555.17 และถ่านกัมมันต์การค้า ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 98.25 และไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 615.89

ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์การค้ามากกว่าถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง เพราะถ่านกัมมันต์การค้าถูกเผาที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนจึงทำให้หมู่คาร์บอนิลบนพื้นที่ผิวหลุดออกไปเป็นจำนวนมาก เหลือแต่คาร์บอนเป็นจำนวนมากบนพื้นที่ผิวที่มากขึ้น จึงทำให้ถ่านกัมมันต์การค้าสามารถดูดซับไอโอดีนซึ่งเป็นโมเลกุลไม่มีขั้วได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง

จากการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านทั้งสามชนิดโดยนำผลที่ได้ไปศึกษากลไกการดูดซับของไอโอดีนภายใต้สมมติฐานของไอโซเทอร์มฟรุนดิชและไอโซเทอร์มแลงเมียร์โดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าการดูดซับที่สมดุล (q_e , mg/g) และ ความเข้มข้นของไอโอดีนที่สมดุล (C_e , mg/L)



รูปภาพที่ 1 แสดงค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมในการดูดซับของถ่านกัมมันต์หลังการกระตุ้น



รูปภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับ กับปริมาณถ่าน ของถ่านทั้งสามชนิด

● ถ่านคาร์บอนแอคทีฟ ■ ถ่านคัมมันต์ ▲ ถ่านคัมมันต์การคั่ว

ตารางที่ 4 แสดงตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จากสมการการดูดซับของไอโซเทอร์มแลงเมียร์และ ฟรุนดิช

ชนิดสารดูดซับ	ตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จากสมการการดูดซับ					
	ไอโซเทอร์มแลงเมียร์			ไอโซเทอร์มฟรุนดิช		
	Q_0 (mg/g)	K (L/mg)	R^2	K (L/mg)	$1/n$	R^2
ถ่านคาร์บอนแอคทีฟจากลูกทุบกวาง	256.4103	0.00177	0.9918	38.9762	0.2107	0.9791
ถ่านคัมมันต์จากลูกทุบกวาง	454.5455	0.001778	0.9896	39.5094	0.2715	0.9974
ถ่านคัมมันต์การคั่ว	1,019.454	0.007078	0.999996	115.133	0.2764	0.9160

จากสมการเส้นตรงแสดงการดูดซับแบบของแลงเมียร์

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

ค่า K คือค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ ค่า Q_0 คือการดูดซับสูงสุด (mg/g) โดยสมมติฐานของไอโซเทอร์มแลงเมียร์ จัดเป็นกลไกการดูดซับเป็นชั้นเดียว จากสมการการดูดซับของแลงเมียร์ สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/C_e$ (แกน x) และค่า $1/q_e$ (แกน y) โดยจะพิจารณาความเป็นเส้นตรงจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เข้าใกล้ 1 และคำนวณ ค่า K จากค่าความชันและค่า Q_0 จากจุดตัดแกน y ผลการทดลองแสดงดังตาราง 4

จากสมการเส้นตรงแสดงการดูดซับแบบของฟรุนดิช

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

เมื่อ K และ $1/n$ เป็นค่าคงที่ของฟรุนดิชโดยสมมติฐานของไอโซเทอร์มฟรุนดิช คือกลไกการดูดซับเป็นแบบหลายชั้น เมื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log C_e$ (แกน x) และค่า $\log q_e$ (แกน y) และพิจารณาความเป็นเส้นตรงจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เข้าใกล้ 1 และคำนวณ ค่า $1/n$ จากค่าความชันและค่า K จากจุดตัดแกน y ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4

จากไอโซเทอร์มแลงเมียร์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ในการดูดซับสารละลายไอโอดีนของถ่านคาร์บอนแอคทีฟ ถ่านคัมมันต์จากลูกทุบกวาง ถ่านคัมมันต์การคั่ว มีค่า เท่ากับ 0.9918 0.9896 และ 0.999996 ตามลำดับ แสดงว่าถ่านคาร์บอนแอคทีฟ และถ่านคัมมันต์การคั่วจะเป็นไปตามสมการการดูดซับของแลงเมียร์มากกว่าถ่านคัมมันต์จากลูกทุบกวาง แสดงว่าถ่านคาร์บอนแอคทีฟจากลูกทุบกวางและถ่านคัมมันต์การคั่วมีการดูดซับแบบชั้นเดียวมากกว่าถ่าน คัมมันต์จากลูกทุบกวาง และพบว่า ถ่านคัมมันต์การคั่วมีค่าการดูดซับสูงสุด (Q_0) และค่าคงที่สมดุล (K) สูงสุด แสดงว่าถ่านคัมมันต์การคั่วสามารถดูดซับไอโอดีนซึ่งเป็นโมเลกุลไม่มีขั้วได้ดี

จากไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายไอโอดีนของฟรอนด์ซ พบว่า ค่า R^2 ของถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางเข้าใกล้ 1 แสดงว่า ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางสอดคล้องกับไอโซเทอร์มฟรอนด์ซ ซึ่งมีกลไกการดูดซับเป็นแบบหลายชั้นโดย ค่าคงที่สมดุลในสมการฟรอนด์ซ (K) มีค่าเท่ากับ 39.5094 L/mg และ ค่า $1/n$ มีค่า เท่ากับ 0.2715

4.8 การศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางจากตารางที่ 5 พบว่า ถ่านกัมมันต์การค้ามีพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด รองลงคือถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางและน้อยที่สุดคือ ถ่านคาร์บอนไนซ์จากลูกหูกวาง ซึ่งข้อมูลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองเรื่องปริมาณการดูดซับไอโอดีน ถ่านกัมมันต์การค้ามีพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุดเนื่องจากถ่านกัมมันต์การค้าถูกเผาที่อุณหภูมิสูงภายใต้

ตารางที่ 5 พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรและขนาดรูพรุน ของถ่านคาร์บอนไนซ์ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางและถ่านกัมมันต์การค้า

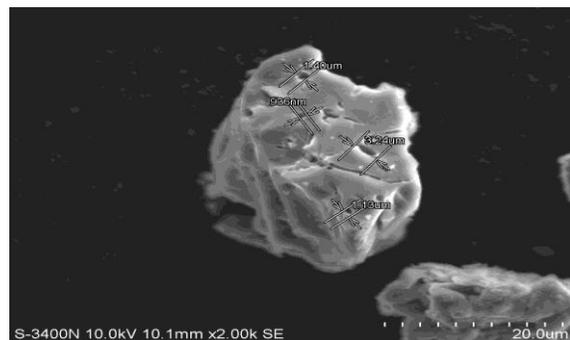
ชนิดถ่าน	Surface Area (m^2/g)	Langmuir Surface Area (m^2/g)	Pore Volume (cm^3/g)	Pore Size (Å)
คาร์บอนไนซ์	11.2559	19.0367	0.011736	41.7064
กัมมันต์	272.9240	362.3649	0.146076	21.4090
กัมมันต์การค้า	930	-	-	-

note ถ่านกัมมันต์การค้า(Fluka 05120) (Lázaro, 2006) “-” หมายถึงไม่มีข้อมูล

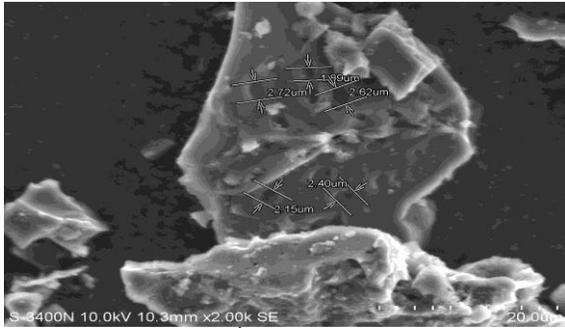
4.9 การศึกษาภาพถ่ายของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ผลจากการถ่ายภาพด้วยเทคนิค SEM ในรูปภาพที่ 3 4 และ 5 พบว่า สภาพพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง เมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริกมีรูพรุนมากกว่าถ่านคาร์บอนไนซ์ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับความสามารถในการดูดซับไอโอดีน

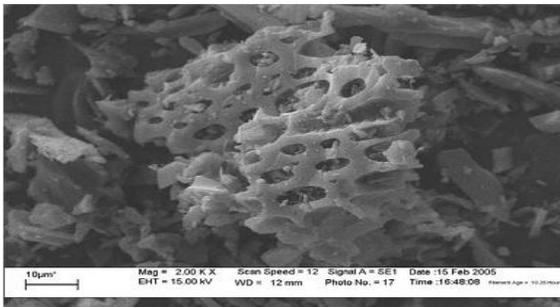
บรรยากาศของไนโตรเจน ทำให้หมู่คาร์บอนิลหลุดออกเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้พื้นผิวของถ่านกัมมันต์การค้ามีรูพรุนมาก พื้นที่ผิวจำเพาะจึงมากกว่าถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง ซึ่งในการทดลองเผาถ่านในงานวิจัยนี้เผาเผาไม่สามารถทำให้ยับยอากาศได้จริงๆ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่า 550 องศาเซลเซียส ถ่านจะกลายเป็นเถ้าและการที่ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าถ่านคาร์บอนไนซ์ก็เนื่องจากว่าทำการกระตุ้นถ่านด้วยกรดซัลฟูริก ซึ่งกรดซัลฟูริกทำให้ หมู่คาร์บอนิลหลุดออกจึงทำให้ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางมีรูพรุนมากขึ้น



รูปภาพที่ 3 สภาพพื้นที่ผิวของถ่านคาร์บอนไนซ์ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

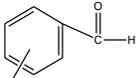


รูปภาพที่ 4 สภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

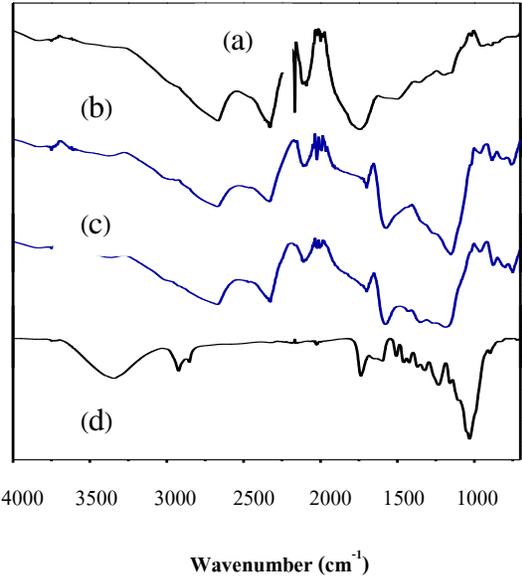


รูปภาพที่ 5 สภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์การค้าที่กำลังขยาย 2000 เท่า (reprinted จาก ปรีนทร, 2551)

ตารางที่ 6 แสดงค่าเลขคลื่นของแถบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในอินฟราเรดสเปกตรัม พร้อมการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm ⁻¹)
 Carbonyl Compound Possibly Aromatic	2,760-2,690
C=O	1,820-1,660
C=C (Aromatic)	1,650-1,450
C-OH	1,200-1,000
C=C-H	980-690
Aromatic ring	820-670

หมายเหตุ : Functional group identify from IR Library



รูปภาพที่ 7 แสดงแถบสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดของ (a) ถ่านมันต์การค้า (b) ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง (c) ถ่านคาร์บอนไนซ์ และ (d) ผงจากลูกหูกวางด้วยเครื่อง (FTIR)

4.10 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นที่ผิวของถ่านด้วยเครื่อง FT IR

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านคาร์บอนไนซ์ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางและถ่านกัมมันต์การค้า โดยใช้เครื่อง FTIR แสดงผลดังรูปภาพที่ 7 สามารถอธิบายได้จากแถบการสั่นที่ช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ดังตารางที่ 6 ซึ่งพบว่าสเปกตรัมรูปภาพที่ 7 ของสารดูดซับทั้ง 4 ชนิดพบว่า ถ่านคาร์บอนไนซ์ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง และถ่านกัมมันต์การค้า มีหมู่ Carbonyl Compound Possibly Aromatic เหมือนกัน ส่วนผงจากลูกหูกวางไม่มีหมู่นี้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จากการเผาลูกหูกวางให้เป็นถ่านจะทำให้ โมเลกุลของกลูโคสเปลี่ยนมาเป็นสารประกอบคาร์บอนิล อโรมาติก ซึ่งสอดคล้องกับเอกสารอ้างอิง (Sigmaaldrich, 2009) ว่า ถ่านกัมมันต์การค้าจะมีคาร์บอนอยู่ในรูปสารประกอบ คาร์บอนิล อโรมาติก

บทสรุป

1. สภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไอซ์ถ่าน ด้วยวิธีไอโอดีนนัมเบอร์และวิธีเมทิลีนบลู ให้สภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไอซ์ที่สภาวะเดียวกัน คืออุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 120 นาที

2. ขนาดที่เหมาะสมของถ่านคาร์บอนไอซ์จากลูกหูกวาง คือ ขนาดเล็กกว่า 38 μm (400 mesh)

3. การกระตุ้นถ่านให้เป็นถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วยอัตราส่วนของถ่านต่อกรดซัลฟูริกเท่ากับ 1:3 เมากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ให้ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 322.21 มิลลิกรัมต่อกกรัม

4. ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง

5. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง โดยเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับไอโอดีนเข้มข้น 0.10 N ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ระหว่างถ่านทั้งสามชนิด พบว่า

5.1 ปริมาณคาร์บอนไอซ์จากลูกหูกวางที่เหมาะสมต่อการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 4.00 กรัม

5.2 ปริมาณถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางที่เหมาะสมต่อการดูดซับไอโอดีน เท่ากับ 2.00 กรัม ค. ปริมาณถ่านกัมมันต์การค้ำที่เหมาะสมต่อการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 1.00 กรัม

5.3 เวลาและความเร็วรอบในการปั่นกวนที่เหมาะสมต่อการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางและ ถ่านกัมมันต์การค้ำ เท่ากับ 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที

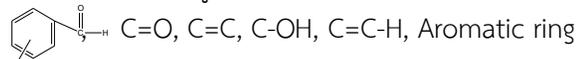
6. จากกลไกการดูดซับไอโอดีน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไอโซเทอร์มแลงเมียร์และ ฟรุนดิช ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางสอดคล้องกับไอโซเทอร์มฟรุนดิช ซึ่งแสดงกลไกการดูดซับไอโอดีนเป็นแบบหลายชั้น ส่วนถ่านคาร์บอนไอซ์และถ่านกัมมันต์การค้ำ สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแลงเมียร์ ซึ่งแสดงกลไกการดูดซับไอโอดีนเป็นแบบชั้นเดียว

7. ศึกษาพื้นที่ผิวสัมผัสของถ่านคาร์บอนไอซ์ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางและ ถ่านกัมมันต์การค้ำด้วยเครื่อง

BET พบว่า ถ่านคาร์บอนไอซ์ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง และ ถ่านกัมมันต์การค้ำ มีพื้นที่ผิวจำเพาะ เท่ากับ 11.2559 272.9240 และ 901.1500ตารางเมตรต่อกกรัมตามลำดับ

8. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางและถ่านกัมมันต์การค้ำด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า สภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง เมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริกมีจำนวนรูพรุนมากขึ้นกว่าถ่านคาร์บอนไอซ์

9. ศึกษาหมู่ฟังก์ชันพื้นผิวของถ่านคาร์บอนไอซ์ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางและ ถ่านกัมมันต์การค้ำด้วย เครื่อง FT-IR พบว่า สเปกตรัมของถ่านคาร์บอนไอซ์ และ ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง มีแถบการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน ในช่วงต่างๆ ของหมู่เหล่านี้



จากการศึกษาไอโอดีน นัมเบอร์ พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน และขนาดของรูพรุน ให้ผลสอดคล้องกันคือถ่านกัมมันต์การค้ำมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากที่สุด รองลงมาคือถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง และน้อยที่สุดคือถ่านคาร์บอนไอซ์จากลูกหูกวาง แสดงว่าถ่านกัมมันต์การค้ำมีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลไม่มีขั้วอย่างเช่นไอโอดีนได้ดีมาก แสดงว่าบนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์การค้ำมีปริมาณคาร์บอนอะตอมจับกันอยู่เป็นจำนวนมากกว่าคาร์บอนในหมู่คาร์บอนิลที่มีขั้ว ซึ่งข้อมูลที่ได้ตรงกับขบวนการผลิตของถ่านกัมมันต์การค้ำ ส่วนถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางสามารถดูดซับโมเลกุลไม่มีขั้วได้น้อยกว่าถ่านกัมมันต์การค้ำ นั้นหมายความว่าถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางมีความเป็นโมเลกุลไม่มีขั้วน้อยกว่า แต่ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางน่าจะเป็นโมเลกุลมีขั้วมากกว่าถ่านกัมมันต์การค้ำ ดังนั้นจึงน่าจะนำถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางไปดูดซับสารพวกโมเลกุลมีขั้ว หรือไอออนของโลหะได้ดีกว่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิตที่ให้
ทุนสนับสนุนงานวิจัย และภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยรังสิต
ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย สถานที่ในการทดลอง
ตลอดจนอนุเคราะห์สารเคมี รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ใน
งานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ปรีนทร เต็มญารศิลป์. 2551. “การเตรียมและการ
วิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์
จาก ไม้ตง และ ไม้หมากजू”. วิทยานิพนธ์ ปริญญา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์
สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Annual Book of ASTM Standards. 1998. **Standard
Test Methods for Moisture in
Activated Carbon D2867-95.15(01):**
709-711.
- Annual Book of ASTM Standards. 1998. **Standard
Test Methods for Total Ash Content of
Activated Carbon D2866-94.15(01):** 707-
708.
- Lázaro, M.J., Suelves, I., Pinilla, J.L., Gálvez, M.E.,
and Moliner, R. 2006. **Hydrogen
Production by Thermo catalytic
Decomposition of Natural Gas:
Carbonaceous Catalysts.** WHEC 16, 13-
16 June . France.
- Sigmaaldrich. 2009. **Charcoal activated fluka
05102.** (Online). [www.sigmaaldrich.com/
catalog/ProductDetail.do?N4=136123|ALDRICH&N5=ProductNo.|BRAND_KEY&F=SPEC](http://www.sigmaaldrich.com/catalog/ProductDetail.do?N4=136123|ALDRICH&N5=ProductNo.|BRAND_KEY&F=SPEC)
C ,November 20, 2009.