



ารศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการ  
ดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฟางข้าว  
แกลบ และชานอ้อย โดยการกระตุ้นทางเคมี  
ด้วยกรดฟอสฟอริก

A Comparative Study of Adsorption Capacity  
of Activated Carbons Prepared from Rice  
Straw, Rice Husk Shell and Sugarcane  
Bagasse by a Chemical Activation  
Method with  $H_3PO_4$

เกษศิริ เท่าวชิระสุวรรณ  
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย  
E-mail: katsiri\_jao@utcc.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เตรียมถ่านกัมมันต์จากฟางข้าว แกลบ และชานอ้อย โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกซึ่งใช้สภาวะที่ทำการศึกษาที่เหมาะสมในการกระตุ้นเดียวกัน ได้แก่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างกรดฟอสฟอริกต่อวัตถุดิบ คือ 1:1 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นคือ 60 นาที โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จะนำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบแบบประมาณ และทดสอบความสามารถในการดูดซับปริมาณไอโอดีน และเมทิลีนบลู นอกจากนี้ยังศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับปริมาณไอโอดีน และเมทิลีนบลู โดยอาศัยสมการของ Freundlich ผลการวิจัยพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฟางข้าวสามารถดูดซับปริมาณไอโอดีนได้สูงที่สุด คือ 998 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากแกลบสามารถดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูได้สูงที่สุด คือ 305 มิลลิกรัมต่อกรัม

เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ในทางการค้า 2 ชนิด พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฟางข้าวมีความสามารถในการดูดซับปริมาณไอโอดีนใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ในทางการค้าชนิดที่ 2 แต่น้อยกว่าชนิดที่ 1 ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัตถุดิบทั้งสามมีความสามารถในการดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ในทางการค้าทั้งสองชนิด อย่างไรก็ตาม ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากฟางข้าว แกลบ และชานอ้อยมีคุณสมบัติเป็นถ่านกัมมันต์ที่ดี เนื่องจากมีค่าไอโอดีนนับเบอรัมากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าความชื้นมีค่าน้อยกว่า 8% ตามมาตรฐานของ มอก. 900-2547 ที่กำหนดไว้

**คำสำคัญ:** ถ่านกัมมันต์ การกระตุ้นทางเคมี ฟางข้าว แกลบ ชานอ้อย ค่าไอโอดีนนับเบอรั เมทิลีนบลู

## Abstract

In this research the activated carbons were prepared from rice straw, rice husk shell and sugarcane bagasse using a chemical activation method by impregnation with  $H_3PO_4$  at identical optimum conditions: activation temperature of 600 °C, activation agent to raw material ratio of 1:1 and activation time of 60 minutes. The derived activated carbons were then analyzed for the composition by proximate analyses and the adsorption capacity of iodine and methylene blue. In addition, Freundlich adsorption isotherms of the adsorption capacity of iodine and methylene blue were investigated. The results showed that the activated carbon obtained from rice straw yielded the highest iodine adsorption (Iodine number), 998 mg/g. The activated carbon obtained from rice husk shell showed the highest methylene blue adsorption, 305 mg/g. When compared to the two commercial activated carbons, the activated carbon obtained from rice straw had an iodine adsorption capacity close to the second commercial activated carbon, but less than the first one. While the methylene blue adsorption capacity of the activated carbon obtained from those three experimental materials had lower levels compared to the two commercial activated carbons. However, the activated carbons obtained from rice straw, rice husk shell and sugarcane bagasse still showed the good qualities to use as activated carbon because all iodine numbers are more than 600 mg/g and the moisture contents (%) are less than 8%, the standards considered by the TISI.900-2547.

**Keywords:** Activated Carbon, Chemical Activation, Rice Straw, Rice Husk Shell, Sugarcane Bagasse, Iodine Number, Methylene Blue

## บทนำ

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่มีคุณสมบัติพิเศษที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้น โดยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน เป็นการนำเอาวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณสูง (80-90%) มาผ่านกระบวนการกระตุ้นหรือก่อกัมมันต์ (Activation) ทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างเป็นรูพรุนจำนวนมาก ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวภายในสูงขึ้นตาม จึงมีความสามารถในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี และถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในทางอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เพื่อใช้แยกสารผสมและทำให้สารบริสุทธิ์โดยใช้กระบวนการดูดซับสาร (Adsorption) เป็นกลไกหลัก เช่น ใช้เป็นสารดูดซับกลิ่น สารปนเปื้อน สารฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม เบียร์ ไวน์ น้ำตาล น้ำมันพืช ผลิตภัณฑ์เคมีและยา และสิ่งทอ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารดูดซับโอโซนในอากาศในอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ และหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ เป็นต้น (Antal, et al., 2000; Salame and Bandosz, 2000; Zou and Han, 2001) เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศไทยมีประสิทธิภาพจำกัด จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานในบางรูปแบบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตและการเลือกใช้วัตถุดิบเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ให้มีคุณภาพดี และเหมาะสมกับการใช้งานต่อไป

วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายชนิด ส่วนใหญ่มักเป็นพวกอินทรีย์สารซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีปริมาณสารระเหยต่ำ มีคุณสมบัติคงที่ วัตถุดิบหลายชนิดที่ได้มีการนำมาวิจัยเพื่อเตรียมเป็น

ถ่านกัมมันต์ เช่น ทะลามะพร้าว (Tam and Antal, 1999) ชานอ้อย (Castro, et al., 2000) ชี้อ้อย (Hamadi, et al., 2000) ถ่านหิน (Zou and Han, 2001) ทะลาปาล์ม (Lua and Guo, 1998) เป็นต้น สำหรับฟางข้าว แกลบ และชานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีราคาถูก หาได้ง่าย มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง จึงมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตถ่านกัมมันต์ อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการกำจัดของเหลือทิ้ง สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบ และช่วยให้เกิดการใช้ทรัพยากรที่หาได้ในประเทศอย่างคุ้มค่ามากที่สุด

การผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วๆ ไป แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกเป็นขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านชาร์ (Char) เรียกขั้นตอนนี้ว่า การทำคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) เป็นขั้นตอนที่ทำให้วัตถุดิบที่มีคาร์บอนปะปนอยู่ในปริมาณต่ำ ให้มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งยังเป็นการเผาไล่สารปนเปื้อนที่ไม่ต้องการออก โดยใช้อุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียส (Yun, Park, and Park, 2001) จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการนำถ่านชาร์ไปเพิ่มประสิทธิภาพด้วยเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ที่เรียกว่า การกระตุ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว (Activation) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ การกระตุ้นทางกายภาพ และการกระตุ้นทางเคมี (Ahmadpour and Do, 1996)

การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊ส หรือไอน้ำ ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูง ประมาณ 800-1000 องศาเซลเซียส เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (Superheated steam) เพื่อให้สารอินทรีย์

ต่างๆ สลายไป ทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นรูพรุน (Porous) อยู่ทั่วไป ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีนี้มีข้อดี คือ สามารถนำมาใช้งานได้เลยทันที โดยไม่ต้องล้างสารเคมีที่เหลือตกค้าง ดังนั้น จึงมีสารพิษตกค้างน้อยมาก หรือแทบไม่มีเลย (Karaosmanoglu, laigur-Ergudenler, and Sever, 2000) แต่ข้อเสียก็คือขนาดของรูพรุนที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี (Lua and Guo, 1998)

การกระตุ้นทางเคมี เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมีหลายชนิด เช่น  $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ , NaOH, KOH,  $ZnCl_2$ ,  $Na_2CO_3$ , NaCl เป็นต้น (Kirubakaran, Krishnaiah, and Seshadri, 1991) ซึ่งการจะเลือกใช้สารเคมีชนิดใดก็ตามขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัตถุดิบที่นำมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ โดยนำสารเคมีเหล่านี้มาผสมกับถ่านซาร์ จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่ปราศจากแก๊สออกซิเจน เป็นเวลาหลายชั่วโมง ข้อดีของการกระตุ้นทางเคมี คือ จะช่วยลดการเกิดทาร์ และสารอื่นๆ อุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นต่ำกว่าการกระตุ้นทางกายภาพ และร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (%yield) มีปริมาณสูง และถ่านกัมมันต์ที่ได้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ (Kennedy, Vijaya, and Sekaran, 2004) แต่ข้อเสียสำหรับวิธีการนี้ ก็คือ ต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นออกให้หมด และในบางครั้งอาจมีสารกระตุ้นตกค้างอยู่ จึงอาจจะไม่เหมาะที่จะนำถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีนี้ไปใช้ทางด้านอาหาร และการแพทย์

งานวิจัยนี้ได้เตรียมถ่านกัมมันต์จากฟางข้าว แกลบ และชานอ้อย โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก และเปรียบเทียบความสามารถใน

การดูดซับปริมาณไอโอดีน และเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นกับถ่านกัมมันต์ในทางการค้า นอกจากนี้ยังศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับปริมาณไอโอดีน และเมทิลีนบลู โดยอาศัยสมการของ Freundlich

## วัตถุดิบและระเบียบวิธีการทดลอง

แกลบที่นำมาใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์ ชื้อมาจาก หจก.โรงสีข้าวธัญญะรุ่งเรืองชัย จ.นครราชสีมา ส่วนฟางข้าวและชานอ้อยซื้อมาจากตลาดสี่มุมเมือง และตลาดไท จ.ปทุมธานี ถ่านกัมมันต์ทางการค้าชนิดที่ 1 เป็นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากกะลามะพร้าว ชื้อมาจากบริษัทคาร์โบกาญจน์ จำกัด กรุงเทพมหานคร ถ่านกัมมันต์ทางการค้าชนิดที่ 2 เป็นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากถ่านไม้ ชื้อมาจากบริษัทอิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด

## การวิเคราะห์องค์ประกอบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ฟางข้าว แกลบ และชานอ้อย และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากวัตถุดิบทั้งสามจะถูกนำไปวิเคราะห์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analyses) ในสารชีวมวลตามวิธีการของ ASTM (American Standard for Testing Materials) เพื่อหาปริมาณสารระเหย (ASTM Committee on Standards, 1998c) เถ้า (ASTM Committee on Standards, 1998b) และคาร์บอนคงตัว (คำนวณโดย ปริมาณคาร์บอนคงตัว = 100-ร้อยละเถ้า-ร้อยละสารระเหย)

## ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์

ศึกษาได้จากการวัดค่าการดูดซับปริมาณ

ไอโอดีน และเมทิลีนบลูต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นวิธีการบอกความสามารถในการดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันของถ่านกัมมันต์ โดยค่าการดูดซับปริมาณไอโอดีนแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก (0.4-1.0 นาโนเมตร) ส่วนค่าการดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับโมเลกุลที่มีขนาดกลาง (1.0-25 นาโนเมตร) ถึงขนาดใหญ่ (>25 นาโนเมตร) (Henning and Schäfer, 2007)

ค่าการดูดซับปริมาณไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ ทำการทดสอบโดยใช้วิธีการไตเตรทแบบไอโอดิเมทรี (Iodometry) เพื่อหาปริมาณของไอโอดีนที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับไว้โดยใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) เป็นไตเตรนท์ ซึ่งเป็นการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM-D4607-94 (ASTM Committee on Standards, 1998a) ค่าที่ได้เรียกว่า ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine Number) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g) โดยคำนวณความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ (C) จากสูตร

$$C = \frac{N_1}{(50 \times S)}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ มีหน่วยเป็น N

$N_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

S = ปริมาตรของของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

และคำนวณค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์  $\left(\frac{x}{m}\right)$  ได้จากสูตร

$$\left(\frac{x}{m}\right) = \frac{[A - (DF \times B \times S)]}{m}$$

เมื่อ A = 12693  $N_2$

$N_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

B = 126.93  $N_1$

DF = dilution factor  $\frac{(100 + 10)}{50}$   
= 2.2

m = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (กรัม)

x = ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์  $\left(\frac{x}{m}\right)$  กับความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือหลังการดูดซับ (C) จะได้กราฟเป็นเส้นตรง คำนวณค่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ตรงตำแหน่งที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือเท่ากับ 0.02 N (ASTM Committee on Standards, 1998a)

ส่วนค่าการดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูทำการทดสอบโดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางสเปกโทรโฟโตเมทรีโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร (Bacoui, et al., 2002) หาปริมาณเมทิลีนบลูที่เหลือจากการดูดซับได้จากการสร้างกราฟมาตรฐาน ค่าปริมาณการดูดซับที่ได้มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g) โดยคำนวณได้จากสูตรดังนี้

ปริมาณการดูดซับ (mg/g)

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ (mg/L)} \times \text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}{\text{น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (g)}}$$

## ไอโซเทอมการดูดซับ

การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของสารดูดซับแต่ละชนิด (ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้น) สามารถทำได้โดยการศึกษความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุล และปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ การเขียนความสัมพันธ์จะเขียนในรูปสมการของ Freundlich (Timur, et al., 2006) คือ

$$\frac{x}{m} = K_d C_e^n$$

หรือ เขียนอยู่ในรูปสมการล็อกการิทึม ได้ดังนี้

$$\log \frac{x}{m} = \log K_d + \frac{1}{n} \log C_e$$

$\frac{x}{m}$  คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)  
ต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (กรัม)

$C_e$  คือ ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล

$K_d$  คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ (ถ่านกัมมันต์)

$n$  คือ ค่าคงที่ของ Freundlich

เมื่อพล็อตกราฟระหว่างค่า  $\log \frac{x}{m}$  (แกน y) และ  $\log C_e$  (แกน x) จะได้จุดตัดแกน y เป็นค่า  $\log K_d$  และ  $\frac{1}{n}$  เป็นความชัน ซึ่งประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์สามารถพิจารณาได้จากค่า  $\log K_d$  และ ค่า  $\frac{1}{n}$  ตามลำดับ

## วิธีการทดลอง

### การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมี

นำวัตถุดิบ ได้แก่ ฟางข้าว แกลบ และชานอ้อย

มาล้างน้ำให้สะอาด แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ นำวัตถุดิบที่อบแห้งแล้วมาบดด้วยเครื่องบด และคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน โดยเลือกขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร (8 x10 เมช) เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมในการดูดซับสารที่มีการศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Castro, et al., 2000; Jagtoyen and Derbyshire, 1998) จากนั้นนำไปเข้าสู่กระบวนการคาร์บอนเซชัน (Carbonization) โดยการเผาภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จะได้ถ่านชาร์ (Char) มีลักษณะเป็นผงสีดำ ขั้นตอนต่อไปเป็นกระบวนการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก เนื่องจากกรดฟอสฟอริกเป็นสารที่มีความสามารถในการทำลายสูง ทำให้สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้องค์ประกอบของฟอสเฟตยังทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดการขยายตัว ส่งผลให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างหลังจากการให้ความร้อน โดยนำถ่านชาร์ที่ได้ประมาณ 10 กรัม มาผสมกับกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ในอัตราส่วนระหว่างกรดฟอสฟอริกต่อถ่านชาร์เท่ากับ 1:1 กวนให้เข้ากันนาน 30 นาที นำถ่านชาร์ที่ผ่านการผสมกับกรดฟอสฟอริกไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกระตุ้นโดยการเผาในเตาเผาที่ควบคุมอุณหภูมิได้ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 100 มิลลิลิตรต่อนาที โดยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ คือ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิที่ศึกษา คือ 600 องศาเซลเซียส เผาที่อุณหภูมิที่ศึกษานาน 60 นาที ปล่อยให้เย็นที่

อุณหภูมิห้อง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะเป็นผง สีดำ ถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำประปา 2-3 ครั้ง เพื่อกำจัดสารกระตุ้นที่หลงเหลืออยู่ออกให้หมด ตามด้วยน้ำกลั่นอีก 2-3 ครั้ง หรือทดสอบที่น้ำล้าง

ให้มี pH เป็นกลางจึงเสร็จขั้นตอนการล้าง นำถ่านกัมมันต์ที่ล้างแล้วไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำหนักคงที่ ขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์แสดงดังรูปที่ 1

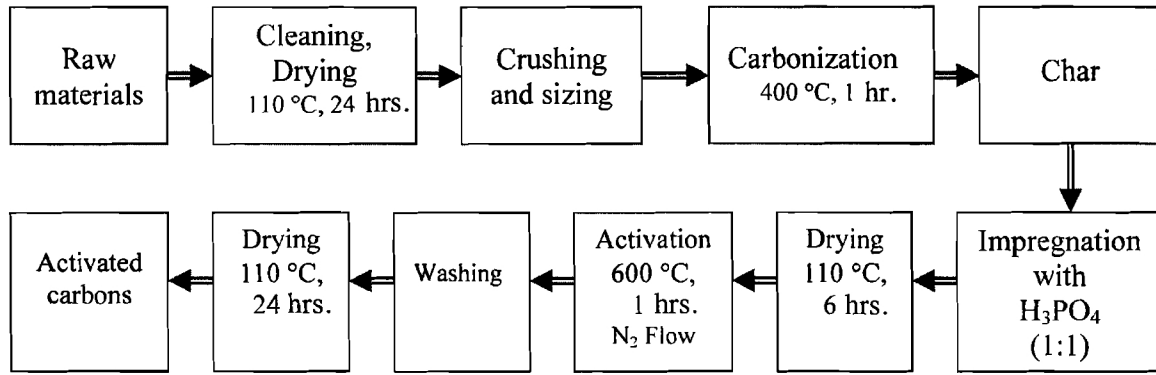


Figure 1 Flow diagram for activated carbons process

### การหาค่าการดูดซับไอโอดีน (ไอโอดีน นัมเบอร์)

ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นโดยประมาณ 3 ค่า ดังนี้ 0.85, 0.99 และ 1.13 กรัม ตามลำดับ เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นของไอโอดีนหลังการดูดซับ น้อยกว่า เท่ากับ หรือมากกว่า 0.02 N โดยนำเอาแต่ละน้ำหนักมาเติมด้วย HCl ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 10 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือด 30 วินาที เพื่อกำจัดเถ้าและซิลเฟอร้ออกจากผิวของถ่านกัมมันต์ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ตามด้วยสารละลายไอโอดีน 0.10 M 100 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่า และเขย่าด้วยอัตราเร็ว 300 รอบต่อนาที นาน 1 นาที จากนั้นนำไปกรองเพื่อแยกเอาถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำสารละลายที่ได้จากการกรอง 50 มิลลิลิตร ไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.10 N (ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนจากการ standardize)

จนสารละลายกลายเป็นสีเหลืองจาง เติมน้ำแบ่ง 2 มิลลิลิตร สารละลายจะกลายเป็นสีน้ำเงินไตเตรท ต่อจนได้สารละลายใสไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ เพื่อกำหนดหาปริมาณการดูดซับต่อไป

นำผลของปริมาณการดูดซับที่ได้จากน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ค่ามาพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ กับความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือหลังการดูดซับ ปริมาณการดูดซับในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัม ที่ความเข้มข้น 0.02 N ของสารละลายไอโอดีนจะแสดงเป็นค่าไอโอดีนนัมเบอร์

### การหาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู

ชั่งถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้น 0.1 กรัม เติมนเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร 50 มิลลิลิตร นำของผสมไปเขย่าในเครื่องเขย่านาน 30

นาที่ จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 เพื่อแยกเอาตะกอนออก วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่แยกได้ด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร (Bacaoui, et al., 2002) หาปริมาณเมทิลีนบลูที่เหลือจากการดูดซับได้จากการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายเมทิลีนบลู

## **ไอโซเทอมของการดูดซับไอโอดีน และ เมทิลีนบลู**

### **ไอโซเทอมของการดูดซับไอโอดีน**

นำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการทดลองซึ่งเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารดูดซับ 6 ค่า คือ 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม โดยนำแต่ละน้ำหนักมาเติมด้วย HCl ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 10 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือด 30 วินาที เพื่อกำจัดเถ้าและซัลเฟตออกจากผิวของถ่านกัมมันต์ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ตามด้วยสารละลายไอโอดีน 0.10 M 100 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่าและเขย่าด้วยอัตราเร็ว 300 รอบต่อนาที นาน 1 นาที จากนั้นนำไปกรองเพื่อแยกเอาถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำสารละลายที่ได้จากการกรอง 50 มิลลิลิตร ไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.10 N จนสารละลายกลายเป็นสีเหลืองจาง เติมน้ำแบ่ง 2 มิลลิลิตร สารละลายจะกลายเป็นสีน้ำเงิน ไตเตรทต่อจนได้สารละลายใสไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ เพื่อกำหนดหาปริมาณไอโอดีนที่เหลืออยู่หลังการดูดซับ

### **ไอโซเทอมของการดูดซับเมทิลีนบลู**

นำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการทดลองซึ่ง

เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ 5 ค่า คือ 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม โดยนำแต่ละน้ำหนักมาเติมเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร 50 มิลลิลิตร นำของผสมไปเขย่าในเครื่องเขย่านาน 30 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 เพื่อแยกเอาตะกอนออก นำสารละลายที่แยกได้วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร หาปริมาณเมทิลีนบลูที่เหลือจากการดูดซับได้จากการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายเมทิลีนบลู

## **ผลการวิจัยและวิจารณ์**

### **การวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบ**

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบต่างๆ ได้แก่ ฟางข้าว แกลบ ชานอ้อย และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากวัตถุดิบทั้งสาม โดยวิธีวิเคราะห์แบบประมาณพบว่า ฟางข้าว แกลบ และชานอ้อยมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 19.5, 17.4 และ 23.4 ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงเพียงพอที่จะนำมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชีวมวลอื่นๆ เช่น เมล็ดลำไย 19.6 เปอร์เซนต์ (Supanee Junpirom, Chaiyot Tangsathikulchai, and Malee Tangsathikulchai, 2007) กะละผลปาล์ม 19.8 เปอร์เซนต์ (Guo and Lua, 2001) และต้นโอลิกานัม 23.0 เปอร์เซนต์ (Timur, et al., 2006)

ปริมาณสารระเหยของฟางข้าว มีค่าใกล้เคียงกับชานอ้อย ส่วนแกลบมีค่าต่ำที่สุด เมื่อนำวัตถุดิบทั้งสามไปกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ ปริมาณสารระเหยลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ที่สลายตัวได้ง่ายส่วนใหญ่ได้ระเหยออกไปได้ที่



อุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียส โดยเกิดจากการสลายตัวของส่วนประกอบจำพวกเฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส (Guo and Lua, 2001)

ส่วนปริมาณถ่านจะสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณคาร์บอนคงตัว ดังนั้นการมีปริมาณถ่านต่ำจะทำให้มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สูงตามไปด้วย สำหรับปริมาณคาร์บอนคงตัวและถ่านในถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากวัสดุทั้งสามชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าปริมาณ

คาร์บอนคงตัวและถ่านในวัสดุดิบก่อนการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีสาเหตุจากสารกระตุ้นที่ใช้คือกรดฟอสฟอริกสามารถเข้าไปแทรกอยู่ในวัสดุดิบเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงสามารถทำปฏิกิริยากับเนื้อคาร์บอน ทำให้เกิดกลุ่มของสารประกอบชนิดใหม่ที่ทนต่อการสลายตัวทางความร้อนมากขึ้นนั่นเอง แต่ปริมาณคาร์บอนคงตัวและถ่านที่แตกต่างกันอาจมีผลมาจากความแตกต่างในโครงสร้างทางธรรมชาติของแต่ละวัสดุดิบ และสภาวะที่ใช้ในการกระตุ้น ซึ่งไม่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้

**Table 1** Proximate analyses of rice straw, rice husk shell, and sugarcane bagasse and activated carbons

Sample	Proximate analyses Dry basis (%wt)		
	Volatile matters	Ash	Fixed carbon
Rice straw	74.2	6.3	19.5
Activated carbon-rice straw	8.8	14.7	76.5
Rice husk shell	62.4	20.2	17.4
Activated carbon-rice husk shell	8.5	23.1	68.4
Bagasse	71.8	4.8	23.4
Activated carbon-bagasse	15.8	8.3	75.9

### การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับปริมาณไอโอดีนและเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฟางข้าว แกลบ และชานอ้อย จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฟางข้าวสามารถดูดซับปริมาณไอโอดีนได้สูงที่สุดคือ 998 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฟางข้าวมีปริมาณรูพรุน

ขนาดเล็ก (micropores, 0.4-1.0 นาโนเมตร) สูง จึงสามารถดูดซับโมเลกุลของไอโอดีนซึ่งมีโมเลกุลขนาดเล็กได้ดี ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากแกลบสามารถดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูได้สูงที่สุดคือ 305 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฟางข้าวและชานอ้อย อธิบายได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากแกลบมีปริมาณรูพรุนขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ (Mesopores-Macropores, มากกว่า 1.0 นาโนเมตร) สูง จึงสามารถดูดซับโมเลกุลของ

เมทิลีนบลูซึ่งมีโมเลกุลขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ได้มากกว่า แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุชีวมวลสามารถมีการพัฒนารูพรุนในระหว่างการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิสูง โดยเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารกลุ่มฟอสเฟตกับสารที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุชีวมวลทำให้เกิดโครงข่ายที่มีลักษณะเป็นรูพรุนในโครงสร้างขนาดแตกต่างกัน จึงส่งผลทำให้มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลที่แตกต่างกันตามไปด้วย (Supanee Junpirom, Chaiyot Tangsathikulchai, and Malee Tangsathikulchai, 2007)

เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ในทางการค้าที่เตรียมจากกะลามะพร้าวชนิดที่ 1 โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงคลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) และเตรียมจากถ่านไม้ชนิดที่ 2 โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฟางข้าว

มีความสามารถในการดูดซับไอโอดีน ใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ในทางการค้าชนิดที่ 2 แต่น้อยกว่าชนิดที่ 1 ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัตถุดิบทั้งสามชนิดมีความสามารถในการดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ในทางการค้าทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการดูดซับโมเลกุลที่มีขนาดกลาง (Mesopores) และขนาดใหญ่ (Macropores) ได้ไม่ดีเท่าที่ควรสำหรับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากการทดลอง

อย่างไรก็ตาม ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากฟางข้าว แกลบ และชานอ้อย มีคุณสมบัติเป็นถ่านกัมมันต์ที่ระดับหนึ่ง เนื่องจากมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์มากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าความชื้นมีค่าน้อยกว่า 8% ตามมาตรฐานของ มอก. 900-2547 ที่กำหนดไว้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

**Table 2** Adsorption capacity of activated carbons obtained from rice straw, rice husk shell, and sugarcane bagasse and the percent of moisture content

Activated carbon	Moisture content (%)	Adsorption capacity	
		Iodine number (mg/g)	Methylene blue (mg/g)
Rice straw	7.1	998	262
Rice husk shell	7.5	886	305
Sugarcane bagasse	7.9	775	185
Commercial 1 (Coconut shell)	6.8	1,150	346
Commercial 2 (Wood)	6.9	1,113	352

## ไอโซเทอมของการดูดซับไอโอดีน และ เมทิลีนบลู

รูปที่ 2 และ 3 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับ ปริมาณไอโอดีน และเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์ จากฟางข้าว แกลบ และชานอ้อยตามลำดับ ซึ่ง เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอโอดีน หรือเมทิลีนบลูที่จุดสมดุล และปริมาณไอโอดีนหรือ

เมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับทำให้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ การดูดซับ ( $\log K_d$ ) และ ค่าความชัน ( $\frac{1}{n}$ ) ได้ ตาราง ที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ ค่าความชัน ของกราฟของการดูดซับ และค่าสัมประสิทธิ์การ ถดถอย (Regression coefficient,  $R^2$ ) ของถ่าน กัมมันต์ต่อการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลู

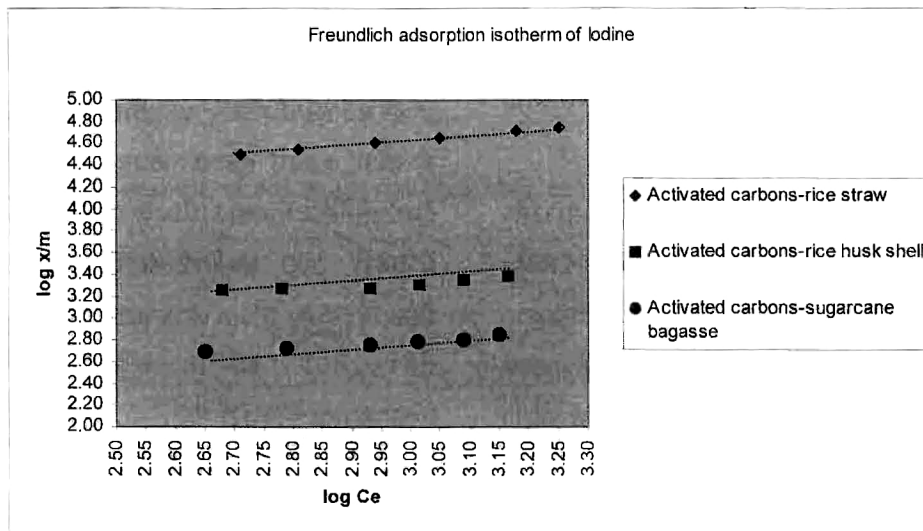


Figure 2 Freundlich adsorption isotherm of iodine

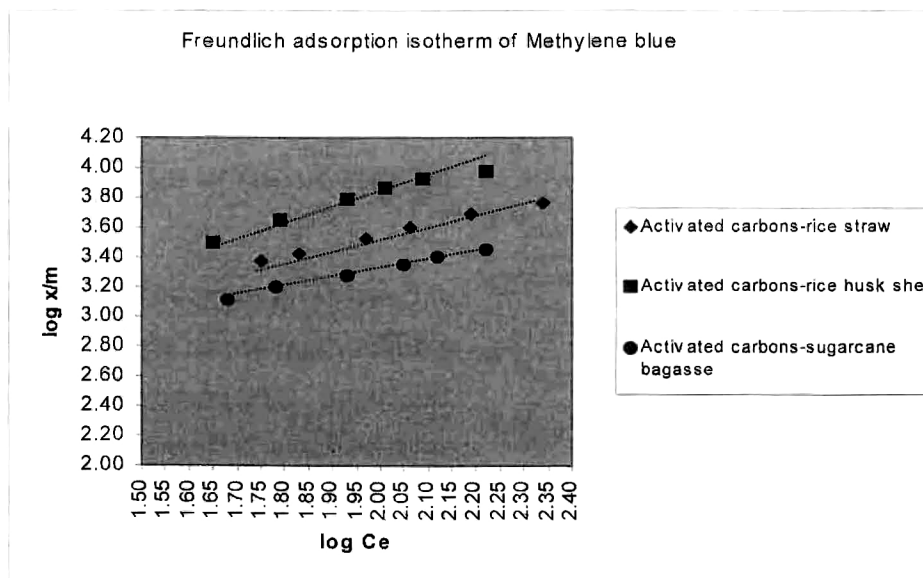


Figure 3 Freundlich adsorption isotherm of methylene blue

**Table 3** Freundlich constants for adsorption of iodine and methylene blue by activated carbon derived from rice straw, rice husk shell, and sugarcane bagasse

Activated carbon	Adsorption of iodine			Adsorption of methylene blue		
	$\log K_d$	$\frac{1}{n}$	$R^2$	$\log K_d$	$\frac{1}{n}$	$R^2$
Rice straw	3.2420	0.4642	0.99	2.2024	0.6725	0.99
Rice husk shell	2.5552	0.2546	0.98	3.3264	0.7563	0.99
Sugarcane bagasse	2.4106	0.1223	0.98	2.0873	0.6167	0.99

ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich พบว่าเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\log \frac{x}{m}$  และ  $\log C_e$  เส้นกราฟที่ได้เป็นเส้นตรงเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่ามาก (มากกว่า 0.98) ซึ่งให้เห็นว่าการดูดซับปริมาณไอโอดีน และเมทิลีนบลูบนผิวของถ่านกัมมันต์จากฟางข้าว แกลบ และชานอ้อย เป็นแบบชั้นเดียว ในการดูดซับปริมาณไอโอดีนนั้นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากฟางข้าวมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ ค่าความชันสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่ามาก (0.99) แสดงให้เห็นว่าสามารถดูดซับไอโอดีนได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากแกลบ และชานอ้อยส่วนการดูดซับปริมาณเมทิลีนบลู ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากแกลบมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับค่าความชันสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่ามาก (0.99) และเช่นเดียวกันแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากแกลบสามารถดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากฟางข้าว และชานอ้อย ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาค่าไอโอดีน นัมเบอร์ และความสามารถในการดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูจากตารางที่ 2

### บทสรุป

จากผลการวิจัยพบว่าฟางข้าว แกลบ และชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ได้ โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก เนื่องจากมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์มากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าความชันมีค่าน้อยกว่า 8% ตามมาตรฐานของ มอก. 900-2547 ที่กำหนดไว้ ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากวัตถุดิบทั้งสามมีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลของไอโอดีน และเมทิลีนบลูในปริมาณที่แตกต่างกัน ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฟางข้าวสามารถดูดซับปริมาณไอโอดีนได้ดีที่สุด คือ 998 มิลลิกรัมต่อกรัม ขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากแกลบสามารถดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด คือ 305 มิลลิกรัมต่อกรัม ผลของความสามารถในการดูดซับที่ได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะและขนาดของรูพรุนในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่แตกต่างกันซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับโมเลกุลที่มีขนาดแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกถ่านกัมมันต์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต้องดูที่ความสามารถในการดูดซับขนาดของโมเลกุลเป็นสิ่งสำคัญ

จากการพิจารณาค่าคงที่ของไอโซเทอมของการดูดซับปริมาณไอโอดีนและเมทิลีนบลูแบบ Freundlich ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากการทดลองจากวัตถุดิบทั้งสามชนิด สรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากฟางข้าวมีความสามารถในการดูดซับปริมาณไอโอดีนได้มากกว่าถ่านกัมมันต์จากแกลบ และชานอ้อย ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากแกลบจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากฟางข้าว และชานอ้อย ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ และความสามารถในการดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูจากตารางที่ 2

เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ในทางการค้า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากฟางข้าว แกลบ และชานอ้อยมีประสิทธิภาพเทียบเท่าถ่านกัมมันต์ในทางการค้าในการดูดซับโมเลกุลขนาดเล็ก แต่มีประสิทธิผลต่ำกว่าในการดูดซับโมเลกุลขนาดกลางและขนาดใหญ่จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับโมเลกุลขนาดกลางและขนาดใหญ่ต่อไป ทั้งนี้เนื่องจากมีปัจจัยหลายประการที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาขนาดของรูพรุนในถ่านกัมมันต์ เช่น ชนิดของวัสดุชีวมวล ชนิดของสารกระตุ้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยที่ควรศึกษาและพัฒนาต่อไปจึงควรเกี่ยวข้องกับปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นสำคัญ

## บรรณานุกรม

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547.  
ถ่านกัมมันต์. มอก. 900-2547 ICS 71.100.80.

กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐาน  
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

- Ahmadpour, A., and Do, D.D. 1996. "The Preparation of Active Carbons from Coal by Chemical and Physical Activation." **Carbon** 34: 471-475.
- Antal, M.J., et al. 2000. "Attainment of the Theoretical Yield of Carbon from Biomass." **Industrial and Engineering Chemistry Research** 39, 11: 4024-4031.
- ASTM Committee on Standards. 1998a. "Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbons." In **Annual Book of ASTM Standards**, pp.112-125. Philadelphia: ASTM Committee on Standards.
- \_\_\_\_\_. 1998b. "Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbons." In **Annual Book of ASTM Standards**, pp. 707-708. Philadelphia: ASTM Committee on Standards.
- \_\_\_\_\_. 1998c. "Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activated Carbons." In **Annual Book of ASTM Standards**, pp. 709-711. Philadelphia: ASTM Committee on Standards.
- Bacaoui, A., et al. 2002. "Experimental Design to Optimize Preparation of Activated Carbons for Use in Water Treatment." **Environmental Science and Technology** 36: 3844-3849.

- Castro, J., et al. 2000. "Phosphoric Acid Activation of Agricultural Residues and Bagasse from Sugar Cane: Influence of the Experimental Conditions on Adsorption Characteristics of Activated Carbons." **Industrial and Engineering Chemistry Research** 39: 166-172.
- Guo, J., and Lua, A.C. 2001. "Kinetic Study on Pyrolysis Process of Oil-Palm Stone Using Two-Step Consecutive Reaction Model." **Biomass and Bioenergy** 20: 223-233.
- Hamadi, K., et al. 2000. "Adsorption Kinetics for the Removal of Chromium (VI) from Aqueous Solution by Adsorbents Derived from Used Tyres and Sawdust." **Chemical Engineering Journal** 84: 95-105.
- Henning, K.D., and Schäfer, S. 2007, June 25. "Impregnated Activated Carbon for Environmental Protection." **CPL Carbon Link** [Online serial]. Available: <http://www.activated-carbon.com/enviro.html>
- Jagtøyen, M., and Derbyshire, F. 1998. "Activated Carbons from Yellow Poplar and White Oak by  $H_3PO_4$  Activation." **Carbon** 36: 1085-1097.
- Karaosmanoglu, F., laigur-Ergudenler, A.I., and Sever, A. 2000. "Biochar from The Straw-Stall of Rapeseed Plant." **Energy and Fuels** 14: 336-339.
- Kennedy, L.J., Vijaya, J.J., and Sekaran, G. 2004. "Effect of Two-Stage Process on the Preparation and Characterization of Porous Carbon Composite from Rice Husk By Phosphoric Acid Activation." **Industrial and Engineering Chemistry Research** 43: 1832-1838.
- Kirubakaran, C.J., Krishnaiah, K., and Seshadri, S.K. 1991. "Experimental Study of the Production of Activated Carbon from Coconut Shells in a Fluidized Bed Reactor." **Industrial & Engineering Chemistry Research** 30: 2411-2416.
- Lua, C.A., and Guo, J. 1998. "Preparation and Characterization of Chars from Oil Palm Waste." **Carbon** 36: 1663-1670.
- Salame, I.I., and Bandosz, T.J. 2000. "Comparison of the Surface Features of Two Wood-Based Activated Carbons." **Industrial and Engineering Chemistry Research** 39, 2: 301- 306.
- Supanee Junpirom, Chaiyot Tangsathikulchai, and Malee Tangsathikulchai. 2007. "Preparation of Activated Carbons from Longan Seed by Physical and Chemical Activation Method." **Suranaree Journal of Science and Technology** 14: 63-76.
- Tam, M.S., and Antal, M.J., Jr. 1999. "Preparation of Activated Carbons from Macadamia Nut Shell and Coconut Shell by Air Activation." **Industrial and**

**Engineering Chemistry Research** 38:  
4268-4276.

Timur, S., et al. 2006. "Preparation of Activated Carbons from Oreganum Stalks by Chemical Activation." **Energy and Fuels** 20: 2636-2641.

Yun, C.H., Park, Y.H., and Park, C.R. 2001. "Effect of Pre-carbonization on Porosity Development of Activated Carbons from Rice Straw." **Carbon** 39: 559-567.

Zou, Y., and Han, B. 2001. "High-Surface-Area Activated Carbon From Chinese Coal." **Energy and Fuels** 15: 1383-1386.



**Ms. Katsiri Laowachirasuwan** received her Master of Science in Chemistry (Inorganic Chemistry) from Texas A&M University, Kingsville, USA. She is currently working at the School of Science, University of the Thai Chamber of Commerce. Her main interest is in material science, inorganic chemistry and analytical chemistry. Her current research includes the characterization of activated carbons.