

## การผลิตถ่านกัมมันต์จากใบอ้อย

ลัดดาวัลย์ อนุเวช<sup>1</sup> สุพัตรา อินคำ<sup>2</sup> และ สัมฤทธิ์ โหม้พวง<sup>3\*</sup>

### Production of Activated Carbon from Sugarcane Leave

Laddawan Anuwetch<sup>1</sup> Supattra Inkum<sup>2</sup> and Sumrit Mopoung<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>โรงเรียนช่างยางวิทยาชน อำเภอสีชมพู จังหวัดขอนแก่น

<sup>2</sup>โรงเรียนปทุมศึกษาลัย อำเภอกอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ

<sup>3</sup>ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

\*Corresponding author: E-mail:sumritm@nu.ac.th

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านใบอ้อย ให้เป็นถ่านกัมมันต์ โดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผาถ่านและการเผากระตุ้น แล้วทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี โดยวิธีการมาตรฐานและวิเคราะห์ด้วย SEM FTIR และ XRD ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นถ่านใบอ้อย ให้เป็นถ่านกัมมันต์คือ เผาถ่านที่อุณหภูมิ 600°C นาน 1 ชั่วโมง นำถ่านไปกระตุ้นโดยแช่ในกรดฟอสฟอริก 0.25 N ในอัตราส่วนถ่านต่อกรด 1: 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 12 ชั่วโมง แล้วนำไปเผากระตุ้นอีกครั้งที่ 600 ถึง 800°C ล้างสิ่งเจือปนด้วยสารละลายกรดเข้มข้น 5N HCl 48% HF และตามด้วย 37% HCl พบว่าที่อุณหภูมิตั้งแต่ 600°C ขึ้นไป ทำให้ถ่านกัมมันต์มีปริมาณแก๊สน้ำน้อยมากอยู่ในช่วงร้อยละ 0.02-0.08 เมื่อทดสอบเลขไอโอดีน พบว่ามีค่าสูงกว่าถ่านใบอ้อยที่เผาที่ 600°C และผลการตรวจสอบด้วย FTIR พบว่าถ่านกัมมันต์มีหมู่ฟังก์ชันเจือปนน้อยมากและลดลงเมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นจาก 600 ไป 800°C สำหรับรูปแบบสเปกตรัม XRD ของถ่านกัมมันต์ที่ได้สอดคล้องกับคาร์บอนในรูปแบบอสัณฐาน ส่วนผลการตรวจสอบพื้นผิวด้วย SEM พบว่าถ่านเกิดรูพรุนไม่มากนักและมีน้ำมันดินเจือปนอยู่ แต่หลังจากผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยกรด ถ่านกัมมันต์มีพื้นผิวขรุขระมากขึ้นและไม่มีน้ำมันดินเจือปน

คำสำคัญ: ใบอ้อย ถ่าน ถ่านกัมมันต์ กรดฟอสฟอริก ไพโรไลซิส

### Abstract

The purpose of this study was to examine the possibility of activated carbon products from sugarcane leaves by using phosphoric acid activation. The effect of carbonization temperatures and activated temperatures were studied. The chemical and physical properties were analyzed by the standard methods, SEM, FTIR and XRD. The study showed that the best method was carbonization at 600°C in an hour, activation with 0.25 N phosphoric acid for 12 hours at a ratio of 1:2 by weight per volume, then pyrolysed at 600, 700 and 800°C. After that, the product was demineralized with a concentrated 5N HCl, 48% HF and then 37% HCl solution. The activation temperature at more than 600°C was offered activated carbon. The ash contents of activated carbons were very low (0.02-0.08%). The iodine number of activated carbons was higher than non-activated carbon. The study was confirmed with FTIR which showed a decrease in the functional group of activated carbon. The activated carbon at 800°C showed a smoother FTIR spectrum than the activated carbon at 600°C and 700°C. The XRD patterns from the activated charcoal corresponded to amorphous carbon. The surface properties of the charcoal were a regular surface with little pores. After activation by using phosphoric acid, it showed a rough surface.

*Keywords:* sugarcane leave, charcoal, activated carbon, phosphoric acid, pyrolysis

### บทนำ

กระบวนการไพโรไลซิสของชีวมวล (Babu and Chaurasia, 2003; Prauchner *et al.*, 2005) เป็นการสลายชีวมวลด้วยความร้อนในสภาพไม่มีออกซิเจนหรืออากาศในช่วงอุณหภูมิประมาณ 600-800°C ทำให้สารระเหยง่ายสลายออกมา และส่วนที่เหลือเป็นของแข็งมีลักษณะเป็นถ่าน ซึ่งมีรูพรุนเกิดขึ้น ในการผลิตถ่านกัมมันต์ (Mozammel *et al.*, 2002) เป็นการนำถ่านหลังจากที่ทำการไพโรไลซิสแล้วมาทำการกระตุ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับให้สูงขึ้น โดยกระบวนการกระตุ้นถ่านเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี การกระตุ้นทางเคมี เป็นวิธีที่มีการใช้สารเคมีในขั้นตอนการกระตุ้น ซึ่งจะใช้อุณหภูมิในการไพโรไลซิสที่ต่ำ ถ่านกัมมันต์ที่ได้หลังจากกำจัดสารกระตุ้นแล้วจะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดี สารเคมีที่ใช้กระตุ้น ได้แก่  $ZnCl_2$ ,  $K_2S$ ,  $KCN$ ,  $H_3PO_4$ ,  $H_2SO_4$  เป็นต้น แต่ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากชีวมวลโดยส่วนใหญ่จะกระตุ้นด้วย  $H_3PO_4$  เช่น กระตุ้นในต้นองุ่น (Corcho-Corral *et al.*, 2006) และลิกนิน (Fiero *et al.*, 2007) โดยทั่วไปการผลิต

ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตร ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสิ่งเจือปนสูง โดยเฉพาะสารอนินทรีย์หรือเถ้า ซึ่งสารเหล่านี้มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับต่ำลง การขจัดแร่ธาตุด้วยกรด HCl พบว่ามีผลต่อการกระตุ้นให้มีพื้นที่ผิวเล็กน้อย (Wu *et al.*, 2003) การขจัดแร่ธาตุปนเปื้อนในถ่านโดยใช้กรดและเบส พบว่า NaOH สามารถละลาย  $\text{Na}_2\text{S}$  ได้ และสามารถลดปริมาณสารประกอบซัลไฟด์และอลูมิเนียมได้ด้วย นอกจากนี้กรดซัลฟูริกสามารถละลายเกลือ โซเดียมได้ดีขึ้น และสารประกอบเหล็กที่เหลือสามารถละลายได้ด้วยกรดไนตริก (Yang *et al.*, 1985) จากการศึกษาการขจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากลิกไนต์ของ Starck และคณะ (2006) โดยให้ลิกไนต์ทำปฏิกิริยากับ HCl 5 N และ HF 5 N ภายใต้อุณหภูมิที่สามารถลดปริมาณแร่ธาตุลงจนถึงร้อยละ 0.16 นอกจากนี้ยังทำการขจัดแร่สามขั้นตอนโดยใช้กรดที่แรงขึ้นคือครั้งแรกใช้ HCl (5 N) ครั้งที่ 2 ใช้ HF (22 N) แล้วตามด้วย HCl (12 N) ตามลำดับ ทำให้เหลือแร่ธาตุน้อยมาก

การวิจัยในครั้งนี้ เพื่อทำการศึกษาหาอุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านจากไบอ้อย แล้วทำการกระตุ้นด้วย  $\text{H}_3\text{PO}_4$  และทำการขจัดเกลือแร่ธาตุต่างๆ ตามวิธีของ Starck และคณะ (2006) ผลผลิตถ่านและถ่านกัมมันต์ที่ได้นำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

## วัสดุและวิธีการทดลอง

### วัสดุ

ไบอ้อยพันธุ์ K 9211 ได้จากอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก

### วิธีการทดลอง

#### การเตรียมวัตถุดิบ

ทำความสะอาดไบอ้อยด้วยน้ำกลั่น ตัดให้ชิ้นเล็กลงให้มีขนาดประมาณ 1-2 เซนติเมตรและอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ  $110^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำวัตถุดิบไปวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ได้แก่ปริมาณสารระเหย ตามวิธี ASTM D 5832 - 95 (1996) ปริมาณเถ้า ตามวิธี ASTM D 2867 - 95 (1996) และปริมาณคาร์บอนคงตัว โดยวิธี ASTM D 3172-89 (1994)

#### การเตรียมถ่าน

นำไบอ้อยที่อบแห้ง มาทำการคาร์บอนไนซ์ในเตาเผาความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 300, 400, 500, 600 และ  $700^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับ ถ่านที่ได้นำไปศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ เช่น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัว ค่าเลขไอโอดีน โดยวิธี AWWA B604-74 (1974) วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเครื่อง FTIR (Perkin Elmer, FT-IR System Spectrum GX) ในช่วง  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$  เครื่อง XRD (PW 3040/60, X'Pert Pro MPD) และตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วย SEM (LEO 1455 VP electron microscopy)

### การเตรียมถ่านกัมมันต์

บดถ่านตัวอย่างที่คาร์บอนไนซ์ที่ 600°C แล้วคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนให้ได้ขนาด 0.2 - 0.5 มิลลิเมตร แล้วอบถ่านที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งถ่านที่อบแล้ว 50 กรัม นำไปกระตุ้นโดยใช้ในกรด  $H_3PO_4$  (Merck Germany) 0.25 N นาน 12 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนของถ่านต่อ  $H_3PO_4$  เป็น 1 : 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วนำไปประเหยให้แห้งในตู้อบ แบ่งถ่านตัวอย่างที่แห้งกรดแล้วออกเป็น 3 ถ้วย บันทึกรน้ำหนักที่แน่นอนไว้ แล้วนำไปทำการไพโรไลซิสอีกครั้งที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800°C จากนั้นล้างสิ่งเจือปนตามวิธีของ Starck และคณะ (2006) โดยใช้ในกรด HCl (Merck Germany) 5 N นาน 10 นาที แล้วใช้ในกรด HF (Merck Germany) เข้มข้น 48% นาน 10 นาที จากนั้นใช้ในกรด HCl เข้มข้น 37% นาน 10 นาที แล้วล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นจนได้ค่า pH เป็นกลาง นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปวิเคราะห์เช่นเดียวกับถ่านข้างต้น

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของไบออย ได้ผลดังตาราง 1 ซึ่งพบว่าไบออยมีเถ้าร้อยละ 0.31 สารระเหยร้อยละ 92.15 และปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 7.55 และเมื่อทำการคาร์บอนไนซ์ ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 700°C พบว่าปริมาณสารระเหยในถ่านมีแนวโน้มลดลงจากร้อยละ 78.47 เหลือ 62.87 เมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์สูงขึ้นจาก 300°C ไปเป็น 500°C จนกระทั่งที่อุณหภูมิ 600-700°C ทั้งนี้เนื่องมาจากในช่วงที่คาร์บอนไนซ์วัตถุดิบมีแนวโน้มให้สารระเหยออกมามากเมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์สูงขึ้น และในทางกลับกันปริมาณคาร์บอนคงตัว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์เพิ่มขึ้นจนกระทั่งที่ 600-700°C เช่นกัน สำหรับปริมาณเถ้า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อนำถ่านไปทำการกระตุ้น และล้างด้วยกรดแล้ว ทำให้ถ่านกัมมันต์มีปริมาณเถ้าลดลงอย่างมาก อยู่ในช่วงร้อยละ 0.02-0.08 เท่านั้น แสดงถึงการขจัดสารประกอบของเกลือแร่ด้วยกรดเป็นไปด้วยดี โดยมีแนวโน้มว่าการขจัดแร่จะดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์สูงขึ้น อาจเกิดจากการที่แร่ธาตุต่างๆ แยกส่วนออกจากถ่านได้ดีขึ้น เมื่อหมุ่ฟังก๊าซได้ถูกทำลายไป ส่วนสารระเหยและคาร์บอนคงตัวของถ่านกัมมันต์ค่อนข้างคงที่ โดยปริมาณสารระเหยต่ำกว่าในถ่านและคาร์บอนคงตัวสูงกว่าในถ่าน ซึ่งอาจเป็นผลของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการกระตุ้น

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์เพิ่มขึ้น ร้อยละผลผลิตถ่านจะลดลง แสดงให้เห็นถึงการสลายตัวของสารไม่อยู่ตัวที่เพิ่มขึ้น (Lua and Yang, 2004) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารระเหยที่มีอยู่ในถ่านน้อยลง ส่วนร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ในทุกอุณหภูมิค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มคงที่ (ช่วงร้อยละ 80.99-83.80) ซึ่งสอดคล้องกับร้อยละของเถ้า สารระเหยและคาร์บอนคงตัวที่มีค่าค่อนข้างคงที่เหมือนกัน แสดงว่าการกระตุ้นที่อุณหภูมิในช่วง 600-800°C มีผลทำให้

องค์ประกอบทางเคมีของถ่านกัมมันต์คงที่ โดยสามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากกรดที่ใช้ในการกระตุ้น การสลายพันธะใน ชิวโพลิเมอร์แล้วทำให้เกิดการประสานไขว้กันของสารในถ่านกัมมันต์ โดยในช่วง ที่อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ต่ำๆ คาร์บอนที่เกิดจากการสลายของสารระเหยย้อนกลับเข้าไปประสานในเนื้อ ถ่านมากขึ้น ทำให้ผลผลิตคาร์บอนสูงขึ้น (Solum *et al.*, 1995) และเมื่อคิดเป็นร้อยละผลผลิตจากใบ อ้อยเริ่มต้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 13.58-14.05 ในการพิจารณาถึงค่าการดูดซับไอโอดีน พบว่าค่าเลข ไอโอดีนของถ่านมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ 300°C ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ 400°C ซึ่ง Díaz-Terán และคณะ (2001) อธิบายว่าในช่วง 300-400°C การคาร์บอนไนซ์ยังไม่สมบูรณ์ ยังมี น้ำมันดินเหลืออยู่และหมู่ฟังก์ชันบนผิวยังถูกจัดออกไปไม่หมด สารพวกนี้สามารถดูดซับไอโอดีน ได้ด้วย และในช่วงอุณหภูมิ 500-600°C เกิดรูพรุนขนาดเล็ก (micropore) ขึ้นมาก ซึ่งไอโอดีนจะถูกดูด ซับโดยรูพรุนพวกนี้ นอกจากนี้ น้ำมันดินยังถูกจัดออกไปด้วย โดยพบว่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 600°C แต่ หลังจากนั้นค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง แสดงถึงเกิดการแตกสลายของพื้นผิว มีผลทำให้รูพรุนขนาด เล็กถูกทำลายและขยายขนาดขึ้น จากการผลิตถ่านพบว่าอุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ที่ 600°C ถ่านที่ได้มีค่าเลข ไอโอดีนสูงสุด จึงได้เลือกนำไปกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกต่อไป แม้ว่าจะมีผลผลิตร้อยละต่ำ แต่ เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ถูกจัดออกไปมาก (รูป 1) และค่าเลขไอโอดีนสูงสุดด้วย หลังจากทำการ กระตุ้นด้วยกรดพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าเลขไอโอดีนสูงกว่าในถ่านมาก แสดงถึงผลของกรด ฟอสฟอริกที่มีต่อการกระตุ้นรูพรุนในขนาดเล็กและการสลายของสารระเหยเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าการ ดูดซับสูงสุดที่ 700°C และที่ 800°C มีค่าลดลง แสดงถึงเกิดการแตกสลายของพื้นผิว มีผลทำให้รูพรุน ขนาดเล็กถูกทำลายและเกิดการเผาไหม้มากขึ้นไปเป็นผลทำให้รูพรุนเกิดการขยายขนาดมากขึ้น ทำให้ สูญเสียผนังรูพรุน (Lua and Yang, 2004) เช่นเดียวกับในถ่าน

#### การวิเคราะห์ด้วย FTIR

จากการวิเคราะห์ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เผาที่ อุณหภูมิต่างๆ ด้วย FT-IR ของถ่านใบอ้อยที่เผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 300–700 °C (รูป 1) พบว่าสเปกตรัม ของถ่านใบอ้อยที่คาร์บอนไนซ์ที่ 300°C มีแถบกว้างที่ประมาณ 3400  $\text{cm}^{-1}$  เป็นหมู่ไฮดรอกไซด์หรือน้ำ ที่ถูกถ่านดูดซับ (Guo and Rockstraw, 2007) แถบในช่วง 2924  $\text{cm}^{-1}$  สอดคล้องกับการสั่นของพันธะ C-H ในหมู่เมทิลและเมทิลีน แถบที่ 1654  $\text{cm}^{-1}$  เกี่ยวกับหมู่คาร์บอนิลที่อาจเกิดขึ้นจากการสลายโดย การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของวงแหวนอะโรมาติกระหว่างคาร์บอนไนซ์ นอกจากนี้ยังมีแถบที่ 1603  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นของ  $\nu(\text{C}=\text{C})$  ของวงแหวนอะโรมาติก แถบที่ 1118  $\text{cm}^{-1}$  เป็นของ  $\nu(\text{C}-\text{O})$  และแถบ ที่ประมาณ 800  $\text{cm}^{-1}$  สอดคล้องกับ  $\gamma(\text{C}-\text{H})$  ที่แสดงถึงการเกิดลักษณะอะโรมาติกเพิ่มขึ้น (Lua and Yang, 2004) แถบเหล่านี้มีความเข้มสูงเมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ต่ำ แสดงถึงมีหมู่คาร์บอนิลเกิดขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์เพิ่มขึ้น ความเข้มของแถบจะลดลงและเกิด  $\nu(\text{C}=\text{C})$  แสดงถึงเกิดการ

สลายพันธะของสารในกระบวนการคาร์บอนไนซ์ สำหรับสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ไบอ้อยที่ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิตั้งแต่ 600–800°C (รูป 2) พบว่าแถบของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ มีจำนวนน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านที่คาร์บอนไนซ์ที่ 600°C แสดงให้เห็นถึงการเกิดการสลายพันธะต่างๆ ของหมู่ฟังก์ชันในถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้จะพบแถบในช่วง 1220-1180 cm<sup>-1</sup> น่าจะเกิดจากหมู่ที่มีฟอสฟอรัสที่สอดคล้องกับ ν(P=O) ในฟอสเฟสเอสเทอร์ รวมทั้ง ν(C–O) ใน P–O–C หรือพันธะ P=OOH และ C–O ที่เกิดจากการออกซิไดส์ของคาร์บอนซ้อนทับร่วมกันอยู่ โดยแถบเหล่านี้มีแนวโน้มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง (Guo and Rockstraw, 2007)

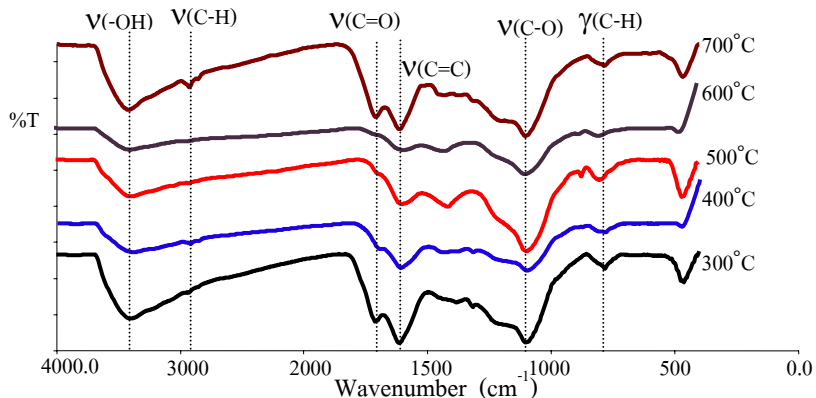
**ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM**

เมื่อนำถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังกล่าวมาทำการตรวจสอบพื้นผิวด้วย SEM พบว่าพื้นผิวถ่านไบอ้อย (รูป 3) มีรูปร่างของผนังเซลล์ที่มีอนุภาคนาขนาดเล็กๆ เกาะติดอยู่มากมาย แต่เมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยกรดและไพโรไลซิสที่ 800°C แล้ว พบว่าอนุภาคนาขนาดเล็กๆ ได้ถูกขจัดออกไป ทำให้มีพื้นผิวที่สะอาด เกิดร่องบนผิวที่ขรุขระและมีขอบเหลี่ยมมากขึ้น (รูป 4) คาดว่าเกิดจากการทำปฏิกิริยาของกรดฟอสฟอริกกับคาร์บอนบนผิวถ่าน ที่กรดฟอสฟอริกเข้าไปสัมผัสหรือแทรกซึมเข้าไปในเนื้อถ่าน แล้วเกิดการสลายระเหยออกไป มีผลทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Girgis และ El-Hendawy (2002) ที่ทำการกระตุ้นเมล็ดคอินทผลัมด้วยกรดฟอสฟอริก

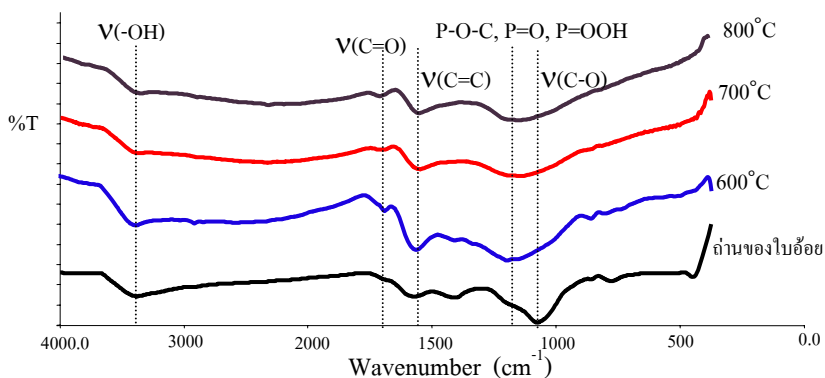
**ตาราง 1** ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ร้อยละผลผลิต และค่าเลขไอโอดีนของไบอ้อย ถ่านและถ่านกัมมันต์ที่คาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

รายการ	เถา % DW	สารระเหย % DW	คาร์บอนคงตัว % DW	ร้อยละผลผลิต % DW	ค่าเลขไอโอดีน mg/g
ไบอ้อย	0.31	92.15	7.55	-	-
ถ่านไบอ้อยที่ 300°C	0.58	78.47	20.95	36.21	677
ถ่านไบอ้อยที่ 400°C	1.58	80.66	17.76	32.77	518
ถ่านไบอ้อยที่ 500°C	1.61	69.97	28.42	25.16	695
ถ่านไบอ้อยที่ 600°C	1.63	63.62	36.38	16.76	837
ถ่านไบอ้อยที่ 700°C	1.65	62.87	35.48	14.49	751
ถ่านกัมมันต์ไบอ้อยที่ 600°C	0.08	36.72	63.20	83.80	1745
ถ่านกัมมันต์ไบอ้อยที่ 700°C	0.07	36.01	63.92	80.99	1859
ถ่านกัมมันต์ไบอ้อยที่ 800°C	0.02	35.33	64.65	81.31	1180

หมายเหตุ DW = dried weight (น้ำหนักแห้ง)



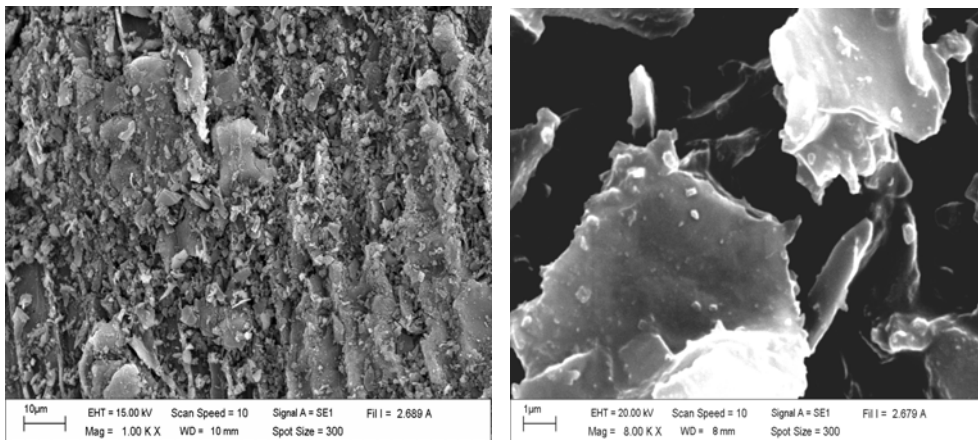
รูป 1 สเปกตรัม FTIR ของถ่านไบอ้อยที่คาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ



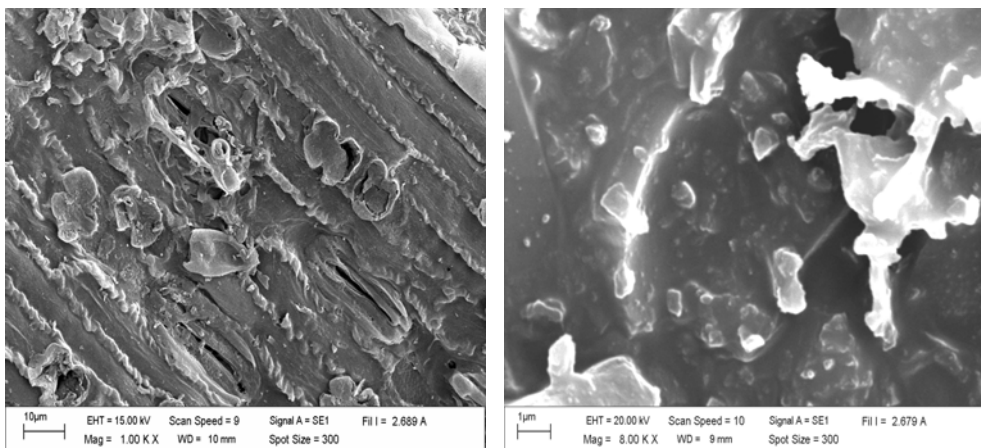
รูป 2 สเปกตรัม FTIR ของถ่านกัมมันต์ไบอ้อยที่ไฟโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ

**การวิเคราะห์ด้วย XRD**

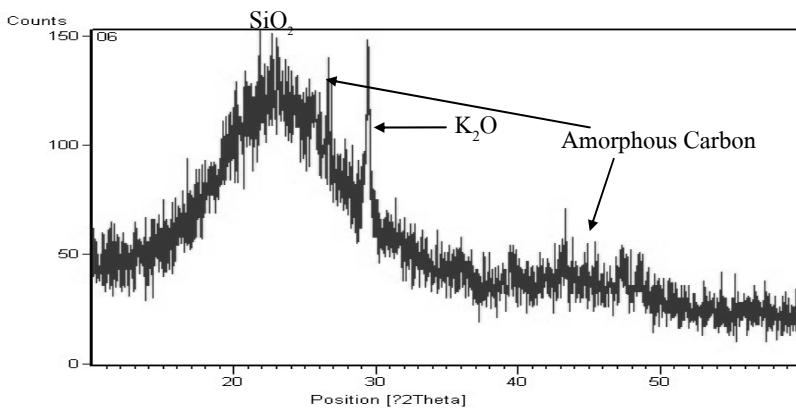
จากรูป 5 แสดงรูปแบบสัญญาณของ XRD สำหรับถ่านพบว่ามีการพิคช่วงกว้างระหว่าง  $2\theta = 20^\circ$  ถึง  $25^\circ$  แสดงถึงการมีของผสมอสัณฐาน  $\text{SiO}_2$  ที่อ้อยมีการดูดซับขึ้นมาจากดินแล้วสะสมในไบอ้อย และมีพิคที่เด่นชัดที่  $2\theta = 29.5^\circ$  แสดงว่ามี  $\text{K}_2\text{O}$  อยู่ โดยปกติพืชที่ให้ความหวานมีความต้องการสารประกอบโพแทสเซียมเป็นอัตราที่สูง นอกจากนี้ ยังมีพิคที่  $2\theta = 26^\circ$  และ  $44^\circ$  แต่ไม่ชัดเจน แสดงถึงมีแนวโน้มการคาร์บอนในรูปอสัณฐาน และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบสัญญาณของถ่านกัมมันต์ (รูป 6) พบว่าพิคที่แสดงถึง  $\text{K}_2\text{O}$  และอสัณฐาน  $\text{SiO}_2$  ได้หายไป แสดงว่าได้ถูกขจัดออกไปเมื่อดังด้วยกรด  $\text{HCl}$  และ  $\text{HF}$  แล้ว และจากภาพแบบสัญญาณของถ่านกัมมันต์จะปรากฏสองพิคที่  $2\theta = 26^\circ$  และ  $44^\circ$  โดยยังแสดงเป็นคาร์บอนที่อยู่ในรูปของอสัณฐานเช่นเดียวกับในถ่าน



รูป 3 ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM ของถ่านใบกล้วยที่คาร์บอนไนซ์ที่ 600°C

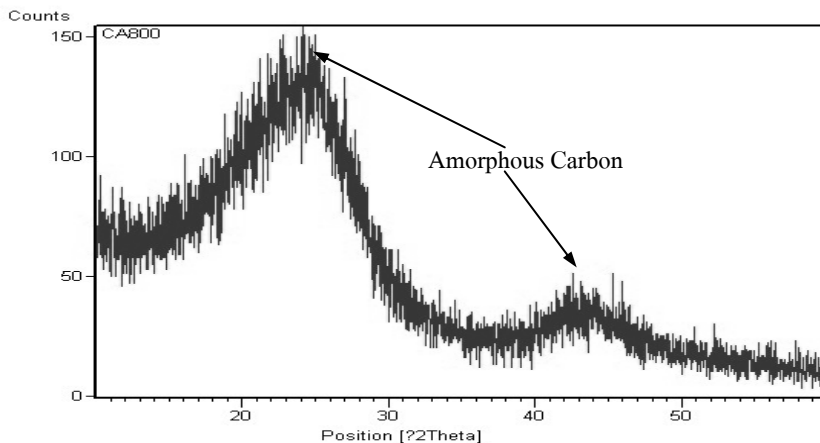


รูป 4 ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM ของถ่านกัมมันต์ของใบกล้วย ไพโรไลซิสที่ 800°C



รูป 5 สเปกตรัม XRD ของถ่านจากใบกล้วยที่คาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 600°C





รูป 6 สเปกตรัม XRD ของถ่านกัมมันต์ไบอ้อยที่ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 800°C

### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไบอ้อย โดยการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก พบว่าอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ที่ได้ถ่านที่มีคุณภาพดีที่สุดคือถ่านที่คาร์บอนไนซ์ที่ 600°C และเมื่อนำไปกระตุ้นให้เกิดกัมมันต์ จะมีหมู่ฟังก์ชันเจือปนน้อยกว่าถ่านคาร์บอนไนซ์ที่ 600°C โดยถ่านกัมมันต์ที่ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 800°C มีหมู่ฟังก์ชันน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไพโรไลซิสที่ 700 และ 600°C ส่วนรูปของถ่านกัมมันต์ที่ได้เกิดโครงสร้างของคาร์บอนอสัณฐาน สำหรับประสิทธิภาพการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ มีค่าสูงกว่าถ่านที่คาร์บอนไนซ์ที่ 600°C และมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ 700°C ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระและเป็นเหลี่ยม

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณภาควิชาเคมีและศูนย์เครื่องมือกลางของคณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจวัดสมบัติต่างๆ

### เอกสารอ้างอิง

American Standard of Testing Material. (1994). Standard Test Method for Fixed Carbon in Activate Carbon ASTM D 3172-89.

American Standard of Testing Material. (1996). Standard Test Method for Total Ash content of Activate Carbon ASTM D 2866-94.

- American Standard of Testing Material. (1996). Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activate Carbon ASTM D 5832-95.
- American Water Works Association. (1974). Standard Test for Determination of Iodine number of granular Activated Carbon AWWA B604-74.
- Babu, B.V. and Chaurasia, A.S. (2003). Modeling, simulation and estimation of optimum parameters in pyrolysis of biomass. *Energy Conversion and Management*, 44, 2135-2158.
- Corcho-Corral, B., Olivares-Marín, M., Fernández-González, C., Gómez-Serrano, V. and Macías-García, A. (2006). Preparation and textural characterisation of activated carbon from vine shoots (*Vitis vinifera*) by  $H_3PO_4$ —Chemical activation. *Applied Surface Science*, 252(17), 5961-5966.
- Díaz-Terán, J., Nevskaia, D. M., López-Peinado, A. J. and Jerez, A. (2001). Porosity and adsorption properties of an activated charcoal. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 187-188, 167-175.
- Fierro, V., Torné-Fernández, V., Celzard, A. and Montané, D. (2007). Influence of the demineralisation on the chemical activation of Kraft lignin with orthophosphoric acid. *Journal of Hazardous Materials*, 149(1), 126-133.
- Girgis, B.S. and El-Hendawy, A.N.A. (2002). Porosity development in activated carbons obtained from date pits under chemical activation with phosphoric acid. *Microporous and Mesoporous Materials*, 52(2), 105-117.
- Guo, Y. and Rockstraw, D.A. (2007). Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 100, 12-19
- Lua, A.C. and Yang, T. (2004). Effect of activation temperature on the textural and chemical properties of potassium hydroxide activated carbon prepared from pistachio-nut shell. *Journal of Colloid and Interface Science*, 274, 594-601.
- Mozammel, H.M., Masahiro, O. and Bhattacharya, S.C. (2002). Activated charcoal from coconut shell using  $ZnCl_2$  activation. *Biomass & Bioenergy*, 22, 397-400.
- Prauchner, M. J., Pasa, V.M.D., Molhallet, N.D.S., Otani, C., Otani, S. and Pardini, L.C. (2005). Structural evolution of *eucalyptus* tar pitch- based carbons during carbonization. *Biomass & Bioenergy*, 28(1), 53-61.
- Solum, M.S., Pugmire, R.J., Jagtoyen, M. and Derbyshire, F. (1995) Evolution of carbon structure in chemically activated wood. *Carbon*, 33(9), 1247-1254.

- Starck, J., Burg P., Muller, S., Bimer, J., Furdin, G., Fioux, P., Guterl, C.V., Begin, D., Faure, P. and Azambre, B. (2006). The influence of demineralisation and ammoxidation on the adsorption properties of an activated carbon prepared from a Polish lignite. *Carbon*, 44(12), 2549-2557.
- Wu, Z., Sugimoto, Y. and Kawashima, H. (2003). Effect of demineralization and catalyst addition on N<sub>2</sub> formation during coal pyrolysis and on char gasification. *Fuel*, 82 (15-17), 2057-2064.
- Yang, R.T., Das, S. K. and Tsai, B.M.C. (1985). Coal demineralization using sodium hydroxide and acid solutions. *Fuel*, 64(6), 735-742.