

**องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของถ่านและถ่านกัมมันต์จากเปลือก  
และวงเครือกล้วย  
สัมฤทธิ์ ไม้พวง**

**Chemical Composition and Physical Properties of Charcoal and Activated  
Charcoal from Peel and Bunch of Banana**

Sumrit Mopoung

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

Corresponding author. E-mail: [sumritm@nu.ac.th](mailto:sumritm@nu.ac.th)

**บทคัดย่อ**

การศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของถ่านและถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยและวงเครือกล้วย โดยการคาร์บอนไนซ์เพื่อผลิตถ่านในช่วงอุณหภูมิ 300-700°C และกระตุ้นถ่านที่คาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 500°C ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วน ถ่าน : โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก แล้วคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 600-900°C พบว่าถ่านจากทั้งเปลือกกล้วยและวงเครือกล้วยมีผลผลิตถ่านลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิในการคาร์บอนไนซ์ ส่วนค่าการดูดซับไอโอดีนพบว่ามีความสูงที่สุดที่อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ที่ 500°C สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ของถ่านที่ได้จากทั้งเปลือกกล้วยและวงเครือกล้วยได้ผลในการทำงานเดียวกัน โดยเมื่ออุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์และอัตราส่วนของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และจากผลฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ได้แสดงว่าพันธะต่างๆ ในวัตถุดิบตั้งต้นได้สลายไปหลังจากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 500°C ยกเว้นยังเหลือพันธะใน CO และ COO<sup>-</sup> ของถ่านกัมมันต์

**คำสำคัญ:** เปลือกกล้วย วงเครือกล้วย ถ่าน ถ่านกัมมันต์ การคาร์บอนไนซ์

### Abstract

The analysis of chemical composition and physical properties of charcoal and activated charcoal from the peels and bunches of banana were studied. The carbonized peels and bunches of banana were prepared by carbonization at 300-700°C. The charcoals of peels and bunches of banana with carbonization at 500°C were activated with KOH in ratios of 1:2, 1:3, 1:4, and 1:5 by weight per weight. Then, these activated charcoals were recarbonized at 600-900°C. It was found that the percentage of charcoals from peels and bunches of banana were decreased with increasing of carbonization temperature. However, the fix carbons were reversed. The maximum of iodine numbers of charcoals from peels and bunches of banana were found to be at a carbonized temperature of 500°C. The iodine number of activated charcoals from peels and bunches of banana were increased with increasing ratios of KOH, but the ethylene blue absorptions were increased a little. The results of FTIR spectra are shown that all chemical bonds in the charcoals were decomposed at 500°C carbonization temperature, except the bonds in CO and COO<sup>-</sup>.

*Keywords:* banana peel, banana bunch, charcoal, activated charcoal, carbonization

### บทนำ

แหล่งที่มาของชีวมวลประกอบด้วย ไม้ และเศษวัสดุไม้ต่างๆ วัสดุที่ได้จากการเกษตรและผลิตภัณฑ์พลอยได้ ของแข็งเหลือทิ้งในชุมชน ของเหลือจากกระบวนการผลิตอาหาร และพวกสาหร่ายและพืชน้ำ โดยวิธีการเพิ่มคุณค่าชีวมวลเหล่านี้ มีสี่กระบวนการ คือ กระบวนการเผาไหม้โดยตรง กระบวนการทางอุณหเคมี กระบวนการชีวเคมี และกระบวนการทางเกษตรเคมี สำหรับกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางอุณหเคมี มีกระบวนการหนึ่งที่มีการใช้แพร่หลายคือ กระบวนการคาร์บอนไนซ์ (carbonization) หรือการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) ซึ่งชีวมวลที่เผาในสภาพไร้ออกซิเจน หรือเผาไหม้ในที่ที่มีออกซิเจนจำกัดที่อุณหภูมิสูง จะได้แก๊สผสมไฮโดรคาร์บอน ของเหลวคล้ายน้ำมัน กรดอะซิติก แอซีโตน เมทานอล และของแข็งคาร์บอน โดยของแข็งคาร์บอนที่ได้คือถ่าน ซึ่งให้ความร้อนสูงกว่าชีวมวลตัวเริ่มต้น และไม่มีควัน (Demirbas, 2001) ส่วนกระบวนการที่เปลี่ยนวัตถุดิบไปเป็นถ่านกัมมันต์มีสองขั้นตอนคือ การคาร์บอนไนซ์และการกระตุ้น (activation) ในการคาร์บอนไนซ์ธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน และออกซิเจนจะถูกขจัดออกไปอยู่ในสถานะแก๊ส ซึ่งผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้มีความสามารถในการดูดซับได้เพียงเล็กน้อย การกระตุ้นจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์ โดยการกระตุ้นมีสองกระบวนการคือทางเคมี

และทางกายภาพ ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี สารที่ใช้กระตุ้นในกระบวนการคาร์บอนไนซ์มีผลทำให้ปริมาณน้ำมันดิน (tar) และสารระเหยง่ายที่หลงเหลืออยู่สลายออกไป มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณคาร์บอนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลทำให้อุณหภูมิที่ใช้สำหรับการคาร์บอนไนซ์ลดลงด้วยการคาร์บอนไนซ์ภายใต้สภาวะเหล่านี้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการกำจัดสารกระตุ้นออกไปแล้วมีสมบัติเป็นถ่านกัมมันต์ที่ดี สารกระตุ้นที่ใช้กันมากได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ โพแทสเซียมซัลไฟด์ โพแทสเซียมไทโอไซยาเนต กรดฟอสฟอริกและกรดซัลฟิวริก (Mozammel *et al.*, 2002)

ในการศึกษานี้ เป็นการตรวจหาค่าประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกและวงเครื่องถ้วยน้ำว่า ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและการแปรรูปอาหารของกล้วย โดยพบว่าในกล้วยหนึ่งผลจะมีปริมาณเปลือกประมาณร้อยละ 30-42 โดยน้ำหนัก (Kachru *et al.*, 1995) ในเปลือกกล้วยมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ถึงร้อยละ 41 โดยน้ำหนัก (Bardiya *et al.*, 1996) ส่วนวงเครื่องถ้วยก็เป็นของเหลือทิ้งจากการตัดหวีกล้วยออกไปแล้ว พบว่ากล้วยหนึ่งต้นมีวงเครื่องถ้วย 6.2 กิโลกรัม (Rodrigo *et al.*, 1997) และจากการศึกษาของ Annadural และคณะ (2002) ได้ใช้เปลือกกล้วยเป็นตัวดูดซับสีจากสารละลายน้ำ ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่าเปลือกกล้วยสามารถดูดซับสีได้ดี

จากการที่เปลือกกล้วยและวงเครื่องถ้วยมีเส้นใยสูง จึงมีความเป็นไปได้สูงสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านและถ่านกัมมันต์ที่ใช้ต้นทุนต่ำเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำ อาหาร สารเคมี และกระบวนการในอุตสาหกรรมต่อไป โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการใช้กากกล้วยหรือเปลือกกล้วยโดยตรงในการทำเป็นตัวดูดซับ ในการศึกษานี้จึงได้นำเปลือกกล้วยและวงเครื่องถ้วยมาเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ อีกทั้งยังเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำไปใช้ในการลดปริมาณของเหลือทิ้งที่ไม่มีคุณค่าต่อไปได้

## วัสดุและระเบียบวิธีการทดลอง

### วัสดุ

ถ่านและถ่านกัมมันต์เตรียมจากเปลือกและวงเครื่องถ้วยน้ำว่า (เก็บตัวอย่างในเขตตำบลหนองตม อำเภอเมืองกงไกรลาส จังหวัดสุโขทัย) โดยทำความสะอาดเปลือกและวงเครื่องถ้วยด้วยน้ำกลั่น และอบให้แห้งในตู้อบที่ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

## การเตรียมถ่านและถ่านกัมมันต์จากเปลือกและวงเครื่องถ้วยน้ำว่า

### การเตรียมถ่าน

เปลือกและวงเครื่องถ้วยที่อบแห้งแล้ว 150 กรัม บรรจุลงในโถเซรามิก (ปริมาตร 500 cm<sup>3</sup>) พร้อมปิดฝา ทำการเผาในตู้อบไฟฟ้าความร้อนสูง (Fisher Scientific Isotemp) จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ (300, 400, 500, 600 และ 700°C) โดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นในอัตรา 5°C ต่อนาที เมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ทำการแช่ที่อุณหภูมินั้นประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นลงในอัตรา 200°C ทุกๆ 30 นาที ถ่านที่ได้นำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ

### การเตรียมถ่านกัมมันต์

นำถ่านที่ได้จากเปลือกและวงเครื่องถ้วย (เลือกถ่านที่คาร์บอนไนซ์ที่ 500°C) ผสมกับ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH, CARLO ERBA Reagent) ในอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 (ถ่าน: KOH โดยน้ำหนัก: น้ำหนัก) แล้วทำการอบให้แห้ง จากนั้นชั่งตัวอย่างจำนวน 150 กรัม บรรจุในโถเซรามิกขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตรพร้อมปิดฝา นำไปเผาในตู้อบไฟฟ้าความร้อนสูง จนถึงอุณหภูมิ 600, 700, 800 และ 900°C โดยเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 10°C ต่อนาที เมื่อถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ ทำการแช่ที่อุณหภูมินี้ไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นลงในอัตรา 200°C ทุกๆ 30 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl, AR Merck) เข้มข้น 6 M ตามด้วยสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (HF, AR Merck) เข้มข้น 22 M และสุดท้ายล้างด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12 M (HCl, AR Merck) นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้นำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ

### การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของถ่านและถ่านกัมมันต์

เปลือกและวงเครื่องถ้วย ถ่านและถ่านกัมมันต์จากเปลือกและวงเครื่องถ้วย นำมาทำการวิเคราะห์หาความชื้น เถ้า คาร์บอนคงตัว และ pH โดยวิธีของ AOAC (1975) ที่ 2.105, 2.107, 2.109 และ 2.110 ตามลำดับ (Ramirez-Lopez *et al.*, 2003) และสารระเหยง่าย ตามวิธี ASTM D 1762-84 (American Standard of Testing Material, 1996) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน หรือจำนวนไอโอดีนของถ่านและถ่านกัมมันต์ โดยวิธีของ Abe และคณะ (2001) และการวิเคราะห์ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์โดยวิธี JIS K 1474-1991 (Japanese Industrial Standard, 1991) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารตัวอย่างในการเผาถ่านที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR spectrophotometer, GX Perkin Elmer) ในช่วง 4000- 400  $\text{cm}^{-1}$

**ผลการทดลองและวิจารณ์**

จากตาราง 1 แสดงองค์ประกอบและสมบัติทางกายภาพของเปลือกกล้วยและวงเครือกล้วยสด พบว่าวงเครือกล้วยสดมีปริมาณความชื้นสูงกว่าเปลือกกล้วยสด ส่งผลให้มีปริมาณคาร์บอนคงตัวในวงเครือกล้วยต่ำกว่าของเปลือกกล้วย ทำนองเดียวกันปริมาณสารระเหยง่ายในวงเครือกล้วยก็ต่ำกว่าของเปลือกกล้วยด้วย ส่วนค่าความเป็นกรด-เบสของตัวอย่างทั้งสองมีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยมีความเป็นกรดอ่อนๆ แสดงถึงว่าสามารถดูดซับวัฏภาคของเหลวที่เป็นเบสได้ดี ซึ่งถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปจะมี pH อยู่ในช่วง 6.4 ถึง 7.4 (Valix *et al.*, 2004)

**ตาราง 1** องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเปลือกกล้วยและวงเครือกล้วยสด

องค์ประกอบ/สมบัติ	เปลือกกล้วย	วงเครือกล้วย
ความชื้น (%)	88.2±0.1	92.9±0.5
เถ้า (%)	1.8±0.1	0.8±0.1
สารระเหยง่าย(%)	9.8±0.1	5.1±0.0
คาร์บอนคงตัว (%)	1.9±0.0	1.4±0.1
pH	6.7±0.0	6.6±0.1

จากตาราง 2 และ 3 แสดงองค์ประกอบและสมบัติทางกายภาพของถ่านจากเปลือกกล้วยและวงเครือกล้วย พบว่า ปริมาณผลผลิตของถ่านที่ได้ จะลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จาก 300°C ถึง 700°C เป็นผลจากการสลายตัวของสารระเหยง่ายออกไป สอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าปริมาณสารระเหยง่ายลดลงตามการเพิ่มของอุณหภูมิในการคาร์โบไนซ์ ซึ่งแสดงว่าที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ปริมาณสารระเหยง่ายในถ่านยังมีอยู่ และส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาถ่านกัมมันต์จากถ่านของ Usmani และคณะ (1996) ที่พบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการลดลงขององค์ประกอบอื่นๆ ยกเว้นปริมาณเถ้า ซึ่งการเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงตัวนี้แสดงถึงการขจัดสารระเหยง่ายออกไปมากขึ้น เช่นเดียวกับถ่านที่ได้จากต้นปาล์ม (Guo and Luo, 1998) อธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์สูงขึ้นจะสลายสารระเหยง่ายออกไป

มากขึ้น เป็นผลให้ได้ถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนและเถ้าเพิ่มขึ้น แต่จะพบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านเปลือกกล้วยจะเริ่มคงที่ ตั้งแต่อุณหภูมิการเผาที่  $500^{\circ}\text{C}$  จนถึง  $700^{\circ}\text{C}$  ส่วนในถ่านจากวงเครือกล้วย ก่อนข้างคงที่ตลอดอุณหภูมิในช่วง  $300-700^{\circ}\text{C}$  (ร้อยละ 34.1-37.3) แสดงให้เห็นว่าสารระเหยง่ายจำนวนมากได้สลายไปแล้วก่อนถึงอุณหภูมิ  $500^{\circ}\text{C}$  สำหรับเปลือกกล้วย และที่อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  สำหรับวงเครือกล้วย และในช่วงอุณหภูมิ  $500-700^{\circ}\text{C}$  ปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านจากเปลือกกล้วย และวงเครือกล้วยมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าการดูดซับไอโอดีนที่อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  ถ่านจากเปลือกกล้วย และวงเครือกล้วยสูงกว่าที่อุณหภูมิ  $400^{\circ}\text{C}$  จากนั้นเพิ่มขึ้นจนถึงสูงสุดที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}\text{C}$  ทั้งถ่านจากเปลือกกล้วยและวงเครือกล้วย และลดลงหลังจากอุณหภูมิ  $600^{\circ}\text{C}$  แสดงว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า  $500^{\circ}\text{C}$  รูพรุน ขนาดเล็ก (micropore) ของถ่านทั้งสองมีแนวโน้มลดลง Arenas และ Cheine (2004) ได้อธิบายว่าที่อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ต่ำจะเกิดรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก อันเนื่องมาจากการระเหยของสารระเหยง่าย ซึ่งการคาร์บอนไนซ์ยังไม่สมบูรณ์ รูพรุนจึงยังขยายขนาดได้ไม่เต็มที่ โดยยังเหลือสารระเหยง่ายหรือน้ำมันดินอยู่ในถ่านมาก อุณหภูมิที่ถ่านดูดซับไอโอดีนสูงสุด แสดงถึงจุดที่เกิดการคาร์บอนไนซ์ที่สมบูรณ์ แต่หลังจากจุดนี้แล้วพื้นผิวจะลดลง อาจเนื่องจากการเกิดการสลายของคาร์บอนมากเกินไป เป็นผลให้ความกว้างรูพรุนมากขึ้นและสูญเสียผนังรูพรุนมากขึ้น นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์สูงขึ้น แนวโน้มของเถ้าจะสูงขึ้นด้วย ซึ่งเถ้าเป็นสารอนินทรีย์ จะไปปิดกั้นรูพรุนขนาดเล็ก ทำให้พื้นผิวน้อยลงเมื่อมีปริมาณสูงขึ้น (Valix *et al.*, 2004) ดังนั้นในการทดลองสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จึงได้เลือกถ่านที่เผาที่  $500^{\circ}\text{C}$  นำไปกระตุ้นด้วย KOH เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ต่อไป

ผลของการดูดซับไอโอดีนได้แสดงถึงรูพรุนขนาดเล็ก จากตาราง 4 และ 5 พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ทั้งจากเปลือกกล้วยและวงเครือกล้วยหลังการกระตุ้นด้วย KOH ในอัตราส่วน 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับถ่านเริ่มต้น และแนวโน้มค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ KOH และอุณหภูมิการกระตุ้นสูงขึ้น แสดงว่าอัตราส่วนของ KOH และอุณหภูมิในการกระตุ้นมีผลต่อการสร้างรูพรุนบนผิวของถ่านเป็นอย่างมาก แต่จะเห็นได้ว่าค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นที่  $600$  ถึง  $700^{\circ}\text{C}$  มีค่าเพิ่มขึ้นน้อย ขณะที่อุณหภูมิ  $800$  ถึง  $900^{\circ}\text{C}$  มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ KOH สูงขึ้น แสดงว่าสัดส่วนของ KOH ที่ใช้ในการกระตุ้นมีความสำคัญต่อการกระตุ้นรูพรุนด้วยเช่นกัน Molina-Sabio และ Rodriguez-Reinoso (2004) ได้อธิบายว่าในการกระตุ้นถ่านด้วย KOH ที่อัตราส่วนต่ำๆ ทำให้ได้รูพรุนขนาดเล็กที่สม่ำเสมอและแคบ ส่วนการกระตุ้นที่อัตราส่วนสูงๆ จะได้รูพรุนขนาดเล็กที่มีขนาดกว้างขึ้น แต่ก็มีผลน้อยมากต่อรูพรุนขนาดกลางแม้ว่าจะมีปริมาณรูพรุนมากขึ้น โดยจะเห็นได้ว่าค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (ตาราง 6 และ 7) ซึ่งแสดงถึงจำนวนรูพรุนขนาดกลาง (mesopore) มีแนวโน้มของการเพิ่มไม่มากนัก ซึ่งรูพรุนขนาดกลางนี้อาจเปลี่ยนแปลงมาจากรูพรุนขนาดเล็ก

(Srinivasakannan and Zailani Abu Bakar, 2004) อธิบายได้ว่าขนาดอัตราส่วนการกระตุ้นของ KOH ที่สูงขึ้น อนุภาคของ KOH ที่เกินพอ ไม่ได้เข้าสัมผัสอนุภาคถ่าน โดยยังคงเป็นของแข็งเกาะอยู่บนผิวภายนอก (Molina-Sabio and Rodriguez-Reinoso 2004)

**ตาราง 2** องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของถ่านจากเปลือกกล้วย

องค์ประกอบ/สมบัติ	อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ (°C)				
	300	400	500	600	700
ผลผลิต (% wt)	63 ±0	49 ±1	36 ±1	30 ±1	29 ±1
ความชื้น (% wt)	9.5±0.1	9.6±0.0	11.2±0.0	14.0±0.0	13.9±0.5
เถ้า (% wt)	28.0±0.1	32.2±0.7	32.5±0.3	32.3±0.3	43.4±0.3
สารระเหยง่าย (% wt)	38.5±0.1	25.6±0.6	17.9±0.4	8.9±0.2	6.7±0.7
คาร์บอนคงตัว (%wt)	23.9±0.2	32.7±0.3	34.5±0.5	35.5±0.2	36.0±0.9
ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)	299 ±4	237 ±6	319 ±7	291 ±7	232 ±1

หมายเหตุ % wt หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนัก

**ตาราง 3** องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของถ่านจากวงเครือกล้วย

องค์ประกอบ/สมบัติ	อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ (°C)				
	300	400	500	600	700
ผลผลิต (%wt)	58 ±1	49 ±0	36 ±0	30 ±0	28 ±0
ความชื้น (%wt)	8.1±0.0	11.9±0.5	11.2±0.5	10.5±0.1	4.9±0.6
เถ้า (%wt)	28.3±0.9	32.1±0.8	37.1±0.7	39.9±0.3	40.5±0.4
สารระเหยง่าย (%wt)	40.4±0.9	27.5±0.5	23.6±0.9	17.4±0.3	12.6±0.4
คาร์บอนคงตัว (%wt)	34.1±0.0	34.3±0.3	35.0±0.1	36.6±0.2	37.3±0.2
ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)	275 ±3	250 ±6	268 ±7	235 ±4	225 ±4

หมายเหตุ % wt หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนัก

**ตาราง 4** ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากถ่านเปลือกกล้วย (mg/g)

อัตราส่วนถ่าน : KOH	อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ (°C)			
	600	700	800	900
1:2	389±2	445±5	695±7	740±7
1:3	642±1	525±1	926±3	1026±8
1:4	593±9	655±8	812±1	1033±10
1:5	617±8	669±8	1058±4	1087±8

ตาราง 5 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากถ่านวงจรรีอกกล้วย (mg/g)

อัตราส่วนถ่าน : KOH	อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ (°C)			
	600	700	800	900
1:2	354±3	681±5	840±6	1031±8
1:3	413±5	716±2	885±7	946±8
1:4	478±8	780±2	907±2	992±2
1:5	522±1	836±3	978±8	829±3

ตาราง 6 ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของถ่านกัมมันต์จากถ่านเปลือกกล้วย (mg/g)

อัตราส่วนถ่าน : KOH	อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ (°C)			
	600	700	800	900
1:2	585±3	583±1	595±6	590±4
1:3	580±1	593±2	595±3	598±3
1:4	577±4	590±5	590±2	584±5
1:5	592±5	590±1	586±1	593±4

ตาราง 7 ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของถ่านกัมมันต์จากถ่านวงจรรีอกกล้วย (mg/g)



อัตราส่วนถ่าน : KOH	อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ (°C)			
	600	700	800	900
1:2	596±1	596±1	591±4	592±4
1:3	590±4	592±1	591±2	592±5
1:4	591±2	594±4	584±5	583±5
1:5	592±6	589±1	593±4	584±3

จากสเปกตรัม FTIR (ตาราง 8) ของถ่านที่ได้จากทั้งเปลือกกล้วยและวงเครือกล้วยที่ทำการคาร์บอนไนซ์ที่ 300°C มีแถบที่ 2923.18 cm<sup>-1</sup> คาดว่าจะเป็นแถบการสั่น (stretching) ของ C-H ของสารกลุ่มอะลิฟาติก (aliphatic) เช่น -CH, -CH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub> (Pradhan and Sandle, 1999) แถบที่ 1322.82 cm<sup>-1</sup> คาดว่าจะเป็นสั่นของ C-O แถบในช่วง 1594.82 cm<sup>-1</sup> จะเป็นการสั่นของพันธะ C=C ในสารกลุ่มอะโรเมติก และในแถบที่ 3402.48 cm<sup>-1</sup> คาดว่าจะเป็นสั่นของ O-H ในหมู่คาร์บอกซิล (El-Sheikh *et al.*, 2004) แต่แถบเหล่านี้จะมีความเข้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์เพิ่มขึ้น จนถึงอุณหภูมิที่ 500°C มีความเข้มอ่อนมาก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารระเหยง่ายลดลงตามการเพิ่มอุณหภูมิ แสดงถึงเกิดการสลายพันธะต่างๆในเปลือกกล้วยและวงเครือกล้วย จนเหลือคาร์บอนมากขึ้น (ตาราง 3 และ 4) ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้เลือกเอาถ่านที่คาร์บอนไนซ์ที่ 500°C ไปทำการกระตุ้นด้วย KOH ต่อไป จากการกระตุ้นด้วย KOH ด้วยอัตราส่วน 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 พบว่าแถบการสั่นที่พบในถ่านเริ่มต้นได้หายไป ยกเว้นแถบในช่วง 3368.50-3438.58 cm<sup>-1</sup> มีความเข้มมากขึ้น และแถบที่ 1630.63-1655.27 cm<sup>-1</sup> เพิ่มขึ้นมา อาจเนื่องมาจากยังมีความชื้นในถ่านกัมมันต์อยู่บ้าง ซึ่งโดยปกติถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูง และอีกสาเหตุหนึ่งอาจเป็นแถบของ KBr ที่ใช้ในการเตรียม (ตาราง 8) ส่วนแถบที่ 1377.81-1392.49 cm<sup>-1</sup> รวมทั้งแถบที่ 1630.63-1655.27 cm<sup>-1</sup> ซึ่งคาดว่า เป็นแถบการสั่นของ C-O และ COO<sup>-</sup> ตามลำดับ โดยมีความเข้มมากขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของ KOH ที่ใช้กระตุ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Babel และ Jurewicz (2004) อธิบายได้ว่า การกระตุ้นผิวคาร์บอนด้วย KOH จะทำให้เกิด K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> พร้อมกับสลายให้ CO<sub>2</sub> และ CO ออกมา (Diaz *et al.*, 2003) โดยหมู่คาร์บอนิล (CO) และคาร์บอกซิเลต (COO<sup>-</sup>) ทั้งสองหมู่นี้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการแช่ด้วย KOH และขั้นการให้ความร้อน (Lua and Yang, 2004)

ตาราง 8 ลักษณะประเภทของพีค FTIR ของถ่านแฉะถ่านกัมมันต์จากเปลือกและวงเครื่องถ้วย

	3368.50-3438.58 cm <sup>-1</sup>	2923.18-2927.07cm <sup>-1</sup>	1630.63-1655.27 cm <sup>-1</sup>	1557.76-1594.82 cm <sup>-1</sup>	1377.81-1392.49 cm <sup>-1</sup>	1005.96-1123.35 cm <sup>-1</sup>
ถ่านเปลือกถั่วเผา 300°C	กว้างและเข้มปานกลาง	แคบและอ่อนมาก	-	กว้างและเข้มมาก	แคบและเข้มน้อย	อ่อนมาก
ถ่านเปลือกถั่วเผา 400°C	กว้างและเข้มปานกลาง	แคบและอ่อนมาก	-	กว้างและเข้มมาก	อ่อนปานกลาง	อ่อนมาก
ถ่านเปลือกถั่วเผา 500°C	กว้างและเข้มปานกลาง	-	-	กว้างและอ่อน	อ่อนปานกลาง	อ่อนมาก
ถ่านเปลือกถั่วเผา 600°C	กว้างและเข้มปานกลาง	-	-	กว้างและอ่อน	อ่อนปานกลาง	อ่อนมาก
ถ่านเปลือกถั่วเผา 700°C	กว้างและเข้มปานกลาง	-	-	กว้างและอ่อน	อ่อนปานกลาง	อ่อนมาก
ถ่านวงเครื่องถ้วยเผา 300°C	กว้างและเข้มปานกลาง	อ่อนมาก	กว้างและเข้มปานกลาง	-	แคบและอ่อนมาก	อ่อนมาก
ถ่านวงเครื่องถ้วยเผา 400°C	กว้างและเข้มปานกลาง	-	เข้มปานกลาง	แคบและเข้ม	แคบและเข้มปานกลาง	อ่อน
ถ่านวงเครื่องถ้วยเผา 500°C	กว้างและเข้มปานกลาง	-	-	กว้างและเข้ม	แคบและเข้มปานกลาง	อ่อนมาก
ถ่านวงเครื่องถ้วยเผา 600°C	กว้างและเข้มปานกลาง	-	-	แคบและเข้ม	แคบและอ่อนมาก	อ่อนมาก
ถ่านวงเครื่องถ้วยเผา 700°C	กว้างและเข้มปานกลาง	-	-	แคบและเข้ม	แคบและอ่อนมาก	อ่อนมาก
ถ่านกัมมันต์เปลือกถั่ว 1:2 เตา 700°C	กว้างและอ่อน	-	-	อ่อนมาก	แคบและอ่อน	อ่อน
ถ่านกัมมันต์เปลือกถั่ว 1:3 เตา 700°C	กว้างและเข้ม	-	กว้างและอ่อน	กว้างและอ่อนมาก	กว้างและเข้ม	อ่อนมาก
ถ่านกัมมันต์เปลือกถั่ว 1:4 เตา 700°C	กว้างและเข้ม	-	กว้างและอ่อน	-	กว้างและเข้ม	อ่อนมาก
ถ่านกัมมันต์เปลือกถั่ว 1:5 เตา 700°C	กว้างและเข้ม	-	กว้างและอ่อนมาก	-	กว้างและเข้ม	อ่อนมาก
ถ่านกัมมันต์วงเครื่องถ้วย 1:2 เตา 700°C	กว้างและเข้ม	-	กว้างและอ่อนมาก	-	กว้างและเข้ม	อ่อนมาก
ถ่านกัมมันต์วงเครื่องถ้วย 1:3 เตา 700°C	กว้างและอ่อน	-	กว้างและอ่อนมาก	-	กว้างและเข้มปานกลาง	กว้างและเข้มปานกลาง
ถ่านกัมมันต์วงเครื่องถ้วย 1:4 เตา 700°C	กว้างและอ่อน	-	กว้างและอ่อนมาก	-	กว้างและเข้มปานกลาง	กว้างและเข้มปานกลาง
ถ่านกัมมันต์วงเครื่องถ้วย 1:5 เตา 700°C	กว้างและเข้ม	-	กว้างและอ่อนมาก	-	กว้างและอ่อนมาก	-
KBr pellet	แคบและเข้มปานกลาง	-	-	-	แคบและอ่อนมาก	-

หมายเหตุ อักษรส่วน หมายถึง ถ่าน: KOH  
 หมายถึง ไม่พบ

## สรุป

วงเครื่องถ้วยมีปริมาณสารระเหยง่ายและคาร์บอนคงตัวต่ำกว่าของเปลือกถ้วย และค่าความเป็นกรด-เบสของตัวอย่างทั้งสองมีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยมีความเป็นกรดอ่อนๆ (6.68 สำหรับเปลือกถ้วยและ 6.58 สำหรับวงเครื่องถ้วย)

องค์ประกอบและสมบัติทางกายภาพของถ่านจากเปลือกถ้วยและวงเครื่องถ้วย พบว่า ปริมาณผลผลิตของถ่านที่ได้ จะลดลงจากร้อยละ 63 ไปเป็น 29 สำหรับเปลือกถ้วยและร้อยละ 58 ไปเป็น 28 สำหรับวงเครื่องถ้วย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จาก 300°C ถึง 700°C ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย (จากร้อยละ 23.9 ไปเป็น 36.0 สำหรับเปลือกถ้วยและร้อยละ 34.1 ไปเป็น 37.3 สำหรับวงเครื่องถ้วย) ในทางกลับกันปริมาณแฉะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ (ร้อยละ 28.0 ไปเป็น 43.4 สำหรับเปลือกถ้วยและร้อยละ 28.3 ไปเป็น 40.5 สำหรับวงเครื่องถ้วย) แสดงถึงการจัดสารระเหยง่ายออกไปมากขึ้น และพบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านเปลือกถ้วย (ร้อยละ 34.8-36.0) จะเริ่มคงที่ตั้งแต่อุณหภูมิการเผาที่ 500°C จนถึง 700°C ส่วนในถ่านจากวงเครื่องถ้วยค่อนข้างคงที่ตลอดอุณหภูมิในช่วง 300-700°C (ร้อยละ 34.1-37.3) โดยมีปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านจากเปลือกถ้วยและวงเครื่องถ้วยใกล้เคียงกัน

ส่วนค่าการดูดซับไอโอดีนที่อุณหภูมิ 300°C ของถ่านจากเปลือกถ้วยและวงเครื่องถ้วยสูงกว่าที่อุณหภูมิ 400°C (299 mg/g และ 275 mg/g ตามลำดับ) จากนั้นเพิ่มขึ้นจนถึงสูงสุดที่อุณหภูมิ 500°C ทั้งถ่านจากเปลือกถ้วย (319 mg/g) และวงเครื่องถ้วย (268 mg/g) และลดลงหลังจากอุณหภูมิ 600°C แสดงว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 500°C รูพรุนขนาดเล็กของถ่านทั้งสองมีแนวโน้มลดลง และเมื่ออุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์สูงขึ้น แนวนอนของถ่านจะสูงขึ้นด้วย

ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ทั้งจากเปลือกถ้วยและวงเครื่องถ้วยหลังการกระตุ้นด้วย KOH มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับถ่านเริ่มต้น และแนวโน้มค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ KOH และอุณหภูมิการกระตุ้นสูงขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 800 ถึง 900°C มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากขึ้นอย่างชัดเจน (ในช่วง 695-1087 mg/g สำหรับถ่านกัมมันต์เปลือกถ้วยและ 829 - 1031 mg/g สำหรับถ่านกัมมันต์วงเครื่องถ้วย) แต่ค่าการดูดซับเมทธิลินบลูเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงถึงจำนวนรูพรุนขนาดกลางมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นไม่มากนัก

สเปกตรัม FTIR ของถ่านที่ได้จากทั้งเปลือกถ้วยและวงเครื่องถ้วยหลังทำการคาร์บอนไนซ์ช่วงอุณหภูมิ 300 ถึง 700°C แถบการสั่นต่างๆ มีความเข้มลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ขึ้น จนถึงอุณหภูมิที่ 500°C มีความเข้มอ่อนมาก การกระตุ้นถ่านที่คาร์บอนไนซ์ที่ 700°C ด้วย KOH พบว่า แถบการสั่นที่พบในถ่านเริ่มต้น ได้หายไป ยกเว้นแถบในช่วง 3368.50 cm<sup>-1</sup> มีความเข้มมากขึ้น และแถบที่ 1657.84 cm<sup>-1</sup> เพิ่มขึ้นมา อาจเนื่องมาจากยังมีความชื้นในถ่านกัมมันต์อยู่บ้าง และคาดว่าจะ

แถบการสั่นของ C-O หรือ COO<sup>-</sup> ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการแช่ด้วย KOH และ  
ขั้นการให้ความร้อน

### เอกสารอ้างอิง

- Abe, I., Fukuhara, T., Maruyama, J., Tatsumoto, H., Iwasaki, S. 2001. Preparation of Carbonaceous Adsorbents for Removal of Chloroform from Drinking Water. *Carbon*, 39, 1069-1073.
- American Standard of Testing Material. 1996. Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal ASTM D 1762-84.
- Annadural, G., Juang, R.S., Lee, D.J. 2002. Use of Cellulose-Based Wastes for Adsorption of Dyes from Aqueous Solutions. *Journal of Hazardous Materials*, B92, 263-274.
- Arenas, E., and Cheine, F. 2004. The Effect of the Activating Agent and Temperature on the Porosity Development of Physically Activated Coal Chars. *Carbon*, Article in press.
- Babel, K., and Jurewicz, K. 2004. KOH Activated Carbon Fabrics as Supercapacitor Material. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 65, 275-280.
- Bardiya, N., Somayaji, D., Khanna, S. 1996. Biomethanation of Banana Peel and Pineapple Waste. *Bioresource Technology*, 58, 73-76.
- Demirbas, A. 2001. Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuels and Chemicals. *Energy Conversion & Management*, 42, 1357-1378.
- Diaz-Teran, J., Nevskaja, D.M., Fierro, J.L.G., Lopez-Peinado, A.J., Jerez, A. 2003. Study of Chemical Activation Process of a Lignocellulosic Material With KOH by XPS and XRD. *Microporous and Mesoporous Materials*, 60, 173-181.
- El-Sheikh, A.H., Newman, A.P., Al-Daffae, H.K., Phull, S., and Cresswell, N. 2004. Characterization of Activated Carbon Prepared from a Single Cultivar of Jordanian Olive Stones by Chemical and Physicochemical Techniques. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71, 151-164.
- Guo, J., and Luo, A. C. 1998. Characterization of Chars Pyrolyzed from Oil Palm Stones for the Preparation of Activated Carbons. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 46, 113-125.

- Japanese Industrial Standard. 1991. Standard test method for Activated Carbon JIS K 1474-1991.
- Kachru, R.P., Kotwaliwale, N., Balasubramanian, D. 1995. Physical and Mechanical Properties of Green Banana (*Musa paradisiaca*) Fruit. *Journal of Food Engineering*, 26, 369-378.
- 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.
- Molina-Sabio, M., and Rodriguez-Reinoso, F. 2004. Role of Chemical Activation in the Development of Carbon Porosity. *Colloids and Surfaces: Physicochem. Eng. Aspects*, 241, 15-25.
- Mozammel, H. M., Masahiro, O., Bhattacharya, SC. 2002. Activated Charcoal from Coconut Shell Using ZnCl<sub>2</sub> Activation. *Biomass and Bioenergy*, 22, 397-400.
- Pradhan. B. K., Sandle, N. K. 1999. Effect of Different Oxidizing agent Treatments on the Surface Properties of Activated Carbons. *Carbon*, 37, 1323-1332.
- Ramirez-Lopez, E., Corona-Hernandez, J., Dendooven, L., Rangel, P., Thalasso, F. 2003. Characterization of Five Agricultural By-Products as Potential Biofilter Carriers. *Bioresource Technology*, 88, 259-263.
- Rodrigo, V.H.L., Stirling, C.M., Teklehaimanot, Z., Nugawela, A. 1997. The effect of Planting Density on Growth and Development of Component Crops in Rubber/Banana Intercropping Systems. *Field Crops Research*, 52, 95-108.
- Srinivasakannan, C., and Zailani Abu Bakar, M. 2004. Production of Activated Carbon from Rubber Wood Sawdust. *Biomass and Bioenergy*, 27, 89-96.
- Usmani, T.H., Ahmed, T.W., Ahmed, S.Z., and Yousufzai, A.H.K. 1996. Preparation and Characterization of Activated Carbon from a Low Rank Coal. *Carbon*, 34:1, 77-82.
- Valix, M., Cheung, W.H., and McKay, G. 2004. Preparation of Activated Carbon Using Low Temperature Carbonisation and Physical Activation of High Ash Raw Bagasse for Acid Dye Adsorption. *Chemosphere*, 56, 493-501.

