

การผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยการก่อกัมมันต์ร่วมด้วยกรด ฟอสฟอริกและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Production of Activated Carbon from Corncob by Combined Phosphoric Acid and Carbon Dioxide Activation

อัฒม์ จันทบุตร¹, อาศิรา บุญแซม², พฤกษ์ อักกะรังสี³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

²นักวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50100

³สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

Ath Jantaboot¹, Asira Bunkham², Pruk Aggarangsi³

¹Department of Energy Engineering Faculty of Engineering Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

²Energy Research and Development Institute - Nakornping, Chiang Mai University 50100

³Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

Received 4 July 2023; Received in revised 12 July 2023; Accepted 13 July 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงจากซังข้าวโพดที่ผ่านการบดย่อยให้มีขนาดเล็กด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยผ่านการก่อกัมมันต์ทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกและก่อกัมมันต์ทางกายภาพด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสถานะการก่อกัมมันต์ ได้แก่ อุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสและการก่อกัมมันต์ที่ 600 700 และ 800 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนของกระบวนการไพโรไลซิสที่ 2-4 ชั่วโมง และเวลาที่ใช้ในการก่อกัมมันต์ทางกายภาพ 2 ชั่วโมง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดที่ได้ให้ผลผลิตร้อยละ 36.82-50.92 ของน้ำหนัก และพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดที่มีพื้นที่ผิวสูง คือ ตัวอย่าง AC_804 จากการแปรสภาพวัตถุดิบตั้งต้นด้วยการใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในการก่อกัมมันต์ทางเคมี และผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง และก่อกัมมันต์ทางกายภาพที่อุณหภูมิเดียวกันด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าพื้นที่ผิว BET เท่ากับ 825 ตารางเมตรต่อกรัม และค่าไอโอดีน นัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 546.76 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มคุณภาพเดียวกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้าเชิงพาณิชย์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดในประเทศไทย

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์; ก่อกัมมันต์ทางเคมี; ก่อกัมมันต์ทางกายภาพ; กรดฟอสฟอริก; ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์; กระบวนการไพโรไลซิส

Abstract

The objective of this research is to investigate an alternative approach to producing activated carbon from corncob through single-stage physical-chemical activation using phosphoric acid and carbon dioxide as assistive agents. The combined pyrolysis and activation process was studied by varying temperatures between 600 and 800 °C and time between 2- and 4-hour activation periods. The results confirm expectations in terms of product yield and physical properties with optimal condition of 0.1 molar acid concentration at 800 °C temperature and 2 hours retention period. The produced substance yields BET surface area of 825 m²/g with an iodine number of 546.76 mg/g which is well in the range of commercial grade activated carbon available in Thailand.

Keywords: Activated carbon; Chemical activation; Physical activation; Phosphoric acid; Carbon dioxide; pyrolysis

1. บทนำ

ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ทุกส่วน โดยเฉพาะเมล็ดเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงนิยมนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารของมนุษย์และอาหารสัตว์ รวมถึงการใช้งานเป็นวัตถุดิบการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งประเทศไทยมีการเพาะปลูกข้าวโพดเป็นจำนวนมาก ทำให้มีเศษวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะซังข้าวโพดจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่ไม่ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ นอกจากการเผาทิ้งหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ให้ค่าประมาณความร้อนที่ต่ำ อีกทั้งเศษวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดที่เกษตรกรกำจัดโดยวิธีการเผายังส่งผลทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและต่อมนุษย์ จากการศึกษาการปลูกข้าวโพดในประเทศไทยปี พ.ศ. 2561 พบว่า เป็นพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยง

สัตว์ ข้าวโพดหวาน และข้าวโพดฝักอ่อน ใช้พื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด 6,997,839 ไร่ ได้ผลผลิต 5,604,578 ตัน และเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2564 ใช้พื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด 7,471,275 ไร่ ได้ผลผลิต 5,699,082 ตัน [1] โดยผลผลิตที่ได้จะนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปทำอาหารใช้เลี้ยงสัตว์ รวมไปถึงการส่งออกต่างประเทศ ทั้งนี้ในขั้นตอนการแปรรูปหรือในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะมีวัสดุเหลือทิ้งได้แก่ เปลือกข้าวโพด และซังข้าวโพด ซึ่งเศษวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ และเกษตรกรจะกำจัดโดยวิธีการเผา ซึ่งการเผาจะทำให้เกิดควันเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรในชุมชนที่อาศัยในพื้นที่นั้น ในส่วนของต้นข้าวโพดเกษตรกรจะนำไปเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เช่น วัว ควาย ช้าง เป็นต้น ดังนั้นหากมีการจัดการกับวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพด ก็จะช่วยลดการเผาของเกษตรกรลงได้ ซึ่งจากการประเมินสัดส่วนชีวมวลของข้าวโพดจะ

แบ่งออกเป็นซังข้าวโพดร้อยละ 20.14 และเป็นเปลือกข้าวโพดร้อยละ 6.02 จากนั้นนำของต้นข้าวโพด [2] คิดเป็นปริมาณซังข้าวโพดเหลือทิ้งประมาณ 1,128,762 ตันต่อปี หากนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ซึ่งจะมีผลผลิตประมาณร้อยละ 15.9-22.3 ของน้ำหนักวัตถุดิบตั้งต้น [3] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ที่ใช้เป็นตัวแปรในการผลิตถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบจากธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ (Activation Process) จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำที่มีความพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีความสามารถในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี [4] จึงนำไปใช้ประโยชน์กับงานต่างๆ ได้มากมาย เช่น ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เป็นตัวดูดซับกลิ่น เป็นตัวดูดซับสีและสารกรอง เป็นตัวเร่งหรือตัวรองรับตัวเร่ง และเป็นวัสดุกักเก็บพลังงาน เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมวัสดุชีวมวลและอุตสาหกรรมเภสัชก็ได้ ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์นั้นจะมีปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบและมีราคาสูง จึงส่งผลให้ราคาของถ่านกัมมันต์มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงต้องหาวัตถุดิบที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายโดยทั่วไปมาเป็นวัตถุดิบ [5] โดยมีงานวิจัยในการนำวัตถุดิบชีวมวลจากทางการเกษตร เช่น งานวิจัยของพิทักษ์อยู่มี [6] ในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากผงถ่านไม้ โดยการก่อกัมมันต์เคมีแบบแห้งด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ได้ถ่านที่ให้ค่าพื้นที่ผิวสูงสุดเท่ากับ 1,214 ตารางเมตรต่อกรัม, งานวิจัยของทองฉัตร จึงสมาน [7] ในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้ไมโครเวฟ โดยการก่อกัมมันต์ทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ความเข้มข้น 40% ได้ถ่านที่มีพื้นที่ผิวสูงสุด 416 ตารางเมตรต่อกรัม, งานวิจัยของ Guang-zhen Zhu และคณะ [8] ในการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงด้วยซังข้าวโพด โดยการก่อกัมมันต์ทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ให้ถ่านที่มีค่า

พื้นที่ผิวสูงเท่ากับ 2,033 ตารางเมตรต่อกรัม, งานวิจัยของ Tesfay Berhe Gebreegziabher และคณะ [9] ในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดด้วยการก่อกัมมันต์ทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 7 โมลาร์ ให้ถ่านที่มีค่าพื้นที่ผิวสูงสุดเท่ากับ 1,618 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งจะพบว่าจากงานวิจัยที่ผ่านมาในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยผ่านการก่อกัมมันต์ทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก จะให้ค่าพื้นที่ผิว BET ที่มีค่าสูงมากเนื่องจากสภาวะความเป็นกรดของสารละลายมีความสามารถในการกัดกร่อนและกำจัดสิ่งสกปรก (Cauterization) ออกจากรูเล็กๆ ที่อยู่ภายในรูพรุน และจากงานวิจัยเหล่านี้จะเป็นการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยกระบวนการเผาแบบ Two-Step หรือการผลิตด้วยวิธีการเผาแบบ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก คือ การคาร์บอนไนซ์ชีวมวลหรือวัตถุดิบตั้งต้น เป็นการให้ความร้อนทำให้สารระเหยและสลายตัวออกจากวัตถุดิบ ได้ผลผลิตของแข็งสีดำ เรียกว่า ถ่านหรือถ่านชาร์ ส่วนขั้นตอนที่สอง คือ การก่อกัมมันต์ เป็นการทำให้ผิวถ่านเกิดรูพรุนขนาดต่างๆ โดยการก่อกัมมันต์ทั่วไปมี 2 วิธี คือ การก่อกัมมันต์ทางกายภาพและเคมี ซึ่งจะเป็นการนำถ่านชาร์ที่ได้จากขั้นตอนแรกมาก่อกัมมันต์ทางเคมีด้วยการแช่สารเคมี และกระตุ้นทางกายภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะได้ผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ แต่การผลิตหรือทดลองในกระบวนการให้ความร้อนในการเตรียมถ่านชาร์และก่อกัมมันต์นั้น จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงและแบ่งการให้ความร้อนออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนั้น ในการผลิตถ่านกัมมันต์แต่ละครั้งนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาเพื่อให้เตาปฏิกรณ์หรือเตาเผาที่ใช้ในการให้ความร้อนนั้นเย็นลงจนถึงอุณหภูมิแวดล้อมก่อน เพื่อความปลอดภัยและลดการเสื่อมของอุปกรณ์ จึงจะสามารถใช้งานเตาเผาเพื่อให้ความร้อนในขั้นตอนหรือการผลิตต่อไปได้ ทำให้การผลิตถ่านกัมมันต์แต่ละครั้งใช้ระยะเวลาในกระบวนการผลิตรวมทั้งหมดที่นานมาก

งานวิจัยนี้จึงได้นำซังข้าวโพดมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ เพื่อศึกษาวิธีการที่

เหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีและกระตุ้นทางกายภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงจากซังข้าวโพดด้วยวิธีการเผาแบบ Single-Step โดยการแปรสภาพซังข้าวโพดจากการก่อกัมมันต์ทางเคมีด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกก่อนนำไปเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิสและก่อกัมมันต์ทางกายภาพจากการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิเดียวกันในขั้นตอนเดียว ซึ่งจะเป็นการผลิตที่ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าวิธีการเผาแบบ Two-Step เพื่อเป็นแนวทางในการลดเวลาที่ใช้ในการผลิตและได้ผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูง ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตกับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาด เพื่อความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากซังข้าวโพดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งในแต่ละปีเกษตรกรจะกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งจากซังข้าวโพดเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะซังข้าวโพดจะกำจัดโดยวิธีการเผา ทำให้เกิดปัญหาหมอกควันและก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ผู้ทำการวิจัยจึงมีแนวคิดในการนำซังข้าวโพดเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยนำซังข้าวโพดที่เหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ซังข้าวโพดที่ได้จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากจังหวัดลำปาง โดยนำมาตากให้แห้งเป็นเวลา 48-72 ชั่วโมง และนำมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดน้อยกว่า 5 มม. นำมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สังเคราะห์บริสุทธิ์เกรด HP 99.995% เป็นตัวกระตุ้นทางกายภาพและใช้กรดฟอสฟอริก 85% เป็นตัวก่อกัมมันต์ทางเคมีของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ และนำซังข้าวโพดที่ได้ผ่านการบด 500 กรัม มาแช่ด้วยสารเคมี

กรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ 500 มิลลิลิตร ที่ได้เตรียมไว้ในภาชนะปิกเกอร์ขนาด 4,000 มิลลิลิตร โดยให้วัตถุดิบจมอยู่ภายในกรดอย่างทั่วถึง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2.2 การผลิตถ่านกัมมันต์

การผลิตถ่านกัมมันต์ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เตาเผาแบบท่อสุญญากาศเป็นตัวให้ความร้อน โดยใช้เครื่องทำความร้อนกำลังไฟสูงสุด 1,800 วัตต์ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สูงสุด 1,000 องศาเซลเซียส ซึ่งเตาเผาแบบท่อสุญญากาศนี้มีพื้นผิวตัวเตาเป็นคอนกรีตและภายนอกหุ้มด้วยเหล็ก ส่วนกลางของเตาเผาจะเป็นช่องว่างเพื่อสอดท่อแก้ว Quartz ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 39 มิลลิเมตร ปลายท่อแก้วต่อเข้ากับท่อสายซิลิโคนเพื่อเป็นทางเดินของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่เตาเผา และใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K วัดอุณหภูมิภายในเตาเผา Figure 1 โดยมีขั้นตอนกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยการให้ความร้อนดังนี้ นำวัตถุดิบซังข้าวโพดบรรจุใส่ในถาดเซรามิก ซึ่งจะมีการใช้ซังข้าวโพดเฉลี่ยประมาณ 3.93 กรัมต่อการทดลอง 1 ครั้ง นำไปเผาให้ความร้อนผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง ในสภาวะไร้ออกซิเจน เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วจะทำการกระตุ้นวัตถุดิบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สังเคราะห์ ในอัตราการไหล 0.1 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยกำหนดให้เลขหลักร้อยของชื่อตัวอย่างแทนอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองของกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระบวนการไพโรไลซิสและก่อกัมมันต์ทางกายภาพ คือ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส และเลขหลักหน่วยตำแหน่งสุดท้ายของชื่อตัวอย่างแสดงแทนระยะเวลารวมทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการให้ความร้อน นอกจากนี้ได้กำหนดให้ชื่อต้นของตัวอย่างการทดลองด้วยการใช้อักษรย่อประกอบด้วย D คือ

ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการกักมันต์ทั้งทางกายภาพและเคมี, A คือ ตัวอย่างที่ผ่านการกักมันต์ทางเคมี ด้วยกรด, C คือ ตัวอย่างที่ผ่านการกักมันต์ทางกายภาพ ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และตามด้วยตัวเลขที่ระบุอุณหภูมิและระยะเวลาการคงอุณหภูมิ (retention time) ในหน่วยชั่วโมง เช่น D_804 หมายถึงตัวอย่างที่

ไม่ผ่านการกักมันต์อบที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง AC_702 หมายถึง ตัวอย่างที่ผ่านการกักมันต์ทั้งแบบเคมีและกายภาพ อบที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เป็นต้น โดยแบ่งตัวอย่างการทดลองออกเป็น 8 ตัวอย่าง (Table 1)

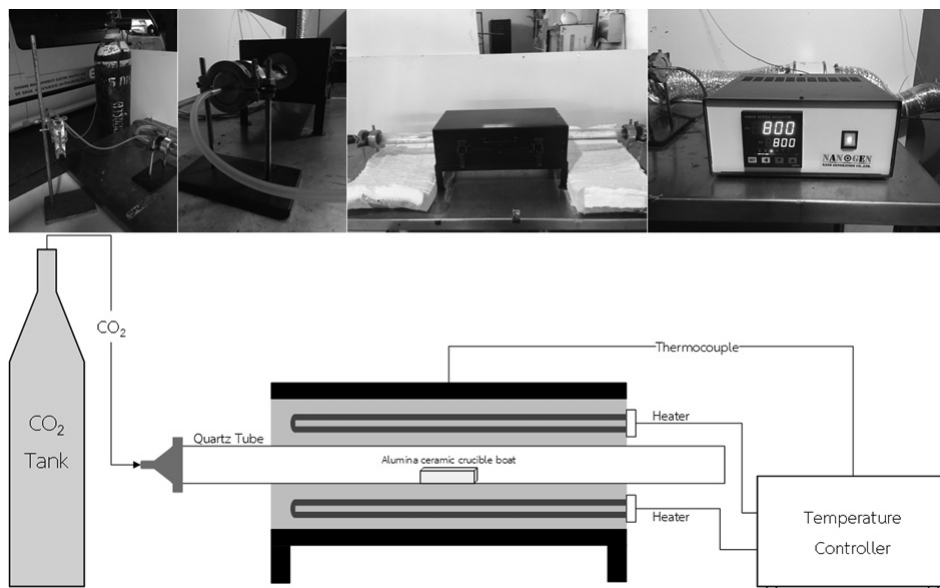


Figure 1 Lab-scale reactors: vacuum atmosphere tube furnace.

Table 1 Different prepared conditions for different corncob activated carbon samples.

No	Samples	Pyrolysis process		Activated by CO ₂	Activated by H ₃ PO ₄	Total time (hour)
		Temperature (°C)	Time (hour)	Activation time (hour)		
1	D_804	800	4	-	-	4
2	A_804	800	4	-	✓	4
3	DC_804	800	2	2	-	4
4	AC_804	800	2	2	✓	4
5	AC_803	800	1	2	✓	3
6	AC_802	800	-	2	✓	2
7	AC_704	700	2	2	✓	4
8	AC_604	600	2	2	✓	4

2.3 การหาพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์และค่าไอโอดีน

การวิเคราะห์พื้นที่ผิว (Surface area) และรูพรุน (Pore Volume) ของถ่านกัมมันต์ โดยนำตัวอย่างการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET) ที่ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ศวท-มช.) ด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน (Surface area and pore size analyzer) Model Autosorb 1 MP ยี่ห้อ Quantachrome และวิเคราะห์ค่าไอโอดีนด้วยวิธี Iodometric method

2.4 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของถ่านกัมมันต์และความร้อนขั้นสูง

วิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) เป็นการศึกษาเพื่อหาองค์ประกอบทางด้านเคมีของถ่านกัมมันต์ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างการทดลอง 5 ตัวอย่าง คือ ชังข้าวโพดดิบ, D_804, AC_804, AC_704 และ AC_604 นำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ด้วยเครื่องมือ CHN628, 628S ของ LECO และวิเคราะห์หาค่าความร้อนขั้นสูง (High heating value, HHV) ด้วยเครื่องมือ Automatic Calorimeter ยี่ห้อ IKA รุ่น PKG500

2.5 การศึกษารูปร่างและลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ทำการศึกษารูปร่างและลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยได้นำไปวิเคราะห์ที่ บริษัท ธาธาบิสซิเนส จำกัด ด้วยเครื่องมือยี่ห้อ OXFORD INSTRUMENTS รุ่น LINK ISIS300

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและผลิตภัณฑ์

จากการนำชังข้าวโพดบดผ่านเข้าสู่การให้ความร้อนด้วยกระบวนการไพโรไลซิส จะได้ผลิตภัณฑ์ถ่านชังข้าวโพดที่มีสีดำมันเงา ขนาดเล็กและเบา ลักษณะรูปร่างภายนอกที่เหมือนกันของ 8 ตัวอย่างการทดลอง (Figure 2) โดยผลผลิตของถ่านชังข้าวโพดที่ได้ตามตัวอย่าง D_804, A_804, DC_804 และ AC_804 เป็นการให้ความร้อนผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะได้ผลผลิตประมาณร้อยละ 26-39 ซึ่งจากการทดลองดังกล่าวจะพบว่าผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่ชังข้าวโพดในกระบวนการไพโรไลซิสและการกักกัมมันต์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของถ่านชังข้าวโพดเป็นอย่างมาก ผลผลิตสุดท้ายที่ได้ของถ่านชังข้าวโพดจะแปรผกผันกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่กระบวนการ โดยการให้ความร้อนสูงขึ้นและระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้นจะส่งผลให้ผลผลิตถ่านชังข้าวโพดที่ได้น้อยลง

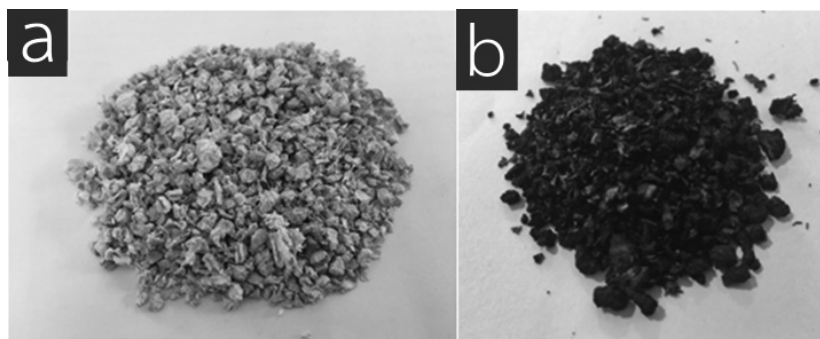


Figure 2 (a) Corn cob, (b) Activated carbon from corn cob.

Table 2 Yields of activated carbons from corncob.

Samples	Weight before process (g)	Weight after process (g)	Yields (%)
Corncob	-	-	-
D_804	4.24 ± 0.28	1.14 ± 0.12	26.81 ± 1.82
A_804	3.21 ± 0.07	1.26 ± 0.19	39.10 ± 2.85
DC_804	3.93 ± 0.41	1.53 ± 0.08	38.93 ± 0.81
AC_804	3.86 ± 0.49	1.52 ± 0.41	39.27 ± 5.79
AC_803	4.12 ± 0.01	1.87 ± 0.02	45.27 ± 1.04
AC_802	3.73 ± 0.15	1.86 ± 0.06	49.80 ± 0.28
AC_704	3.57 ± 0.01	1.70 ± 0.09	47.73 ± 2.35
AC_604	3.51 ± 0.26	1.77 ± 0.15	50.43 ± 1.27

Table 2 ตัวอย่าง D_804 หากวัตถุดิบไม่มีการแปรสภาพด้วยการแช่กรด จะให้ผลผลิตร้อยละ 26.81 แต่เมื่อมีการแปรสภาพซังข้าวโพดด้วยการแช่กรดของตัวอย่าง A_804 พบว่าจะได้ผลผลิตสูงขึ้นที่ร้อยละ 39.10 แสดงว่าฟอสฟอริกที่กระตุ้นให้กับวัตถุดิบซังข้าวโพด จะมีการเกิดปฏิกิริยากับวัตถุดิบและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างวัตถุดิบให้มีความทนทานต่ออุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น การสลายตัวจึงเกิดได้น้อยลงส่งผลทำให้ได้ร้อยละผลผลิตมากขึ้น และจากตัวอย่าง AC_803 และ AC_802 คือ การคงอุณหภูมิของกระบวนการที่ 800 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาที่น้อยลงเป็น 3 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ และการลดอุณหภูมิความร้อนที่ให้อุณหภูมิของกระบวนการเป็น 700 และ 600 องศาเซลเซียส ที่ตัวอย่าง AC_704 และ AC_604 จากผลการทดลองของตัวอย่างที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นจะเห็นได้ว่าผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบในกระบวนการไพโรไลซิสและก่อกัมมันต์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เป็นอย่างมาก ผลผลิตที่ได้ของถ่านกัมมันต์จะแปรผกผันกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่กระบวนการ โดยการให้ความร้อนสูงขึ้นและระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้นจะส่งผลให้น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ได้น้อยลง ซึ่งน้ำหนักที่หายไปของเชื้อเพลิงคือ ปริมาณสารระเหยและความชื้นที่อยู่ภายในซังข้าวโพดก่อนสู่กระบวนการไพโรไลซิส และส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้นตาม

อุณหภูมิและระยะเวลาที่ให้ความร้อน (Table 3) และหากมีการให้ความร้อนอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างการเผาไหม้กระบวนการไพโรไลซิสได้ดีมากขึ้น และยังได้รับความร้อนที่สูงจะส่งผลให้สารระเหยในชีวมวลสลายหายไปมากขึ้นตาม และหากมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในระยะเวลาที่นานมากขึ้นก็จะทำให้ชีวมวลได้รับความร้อนได้นานมากขึ้น ทำให้เกิดการสลายของสารระเหยได้มากขึ้นด้วย เมื่อสารระเหยในถ่านกัมมันต์หายไปก็จะทำให้สัดส่วนของคาร์บอนในเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้ตัวแปรทั้งสองตัว คือ อุณหภูมิและระยะเวลาที่คงอุณหภูมิความร้อนระหว่างกระบวนการยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติขององค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ถ่านซังข้าวโพด คือ เมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นและระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น จะทำให้คาร์บอนและไนโตรเจนเพิ่มขึ้น แต่ไฮโดรเจนและออกซิเจนจะลดลง ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แสดงว่าคาร์บอนในถ่านจะมีค่าสูงขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่ให้แก่กระบวนการ แต่จะส่งผลให้ทำให้ออกซิเจนในถ่านมีค่าลดลง ซึ่งทำให้อัตรา O/C ลดลงตามไปด้วยเป็นผลทำให้ค่าความร้อนของถ่านซังข้าวโพดสูงขึ้น โดยจะมีค่าความร้อนขั้นสูง ประมาณ 30.56-32.18 กิโลจูลต่อกรัม ซึ่งจะสอดคล้องกับการทดลองของ Zhaoyang Li และคณะ [10]

Table 3 Elemental analysis and high heating values.

Samples	Elemental analysis (%)					O/C	H/C	High heating values (kJ/g)
	C	H	N	S	O ¹			
Corncob	43.400	6.845	0.420	0.047	49.29	0.852	1.893	18.47
D_804	86.407	1.933	0.662	0.025	10.97	0.095	0.268	30.56
AC_804	87.841	1.472	0.675	0.017	10.00	0.085	0.201	30.73
AC_704	87.045	1.863	0.650	0.026	10.42	0.090	0.257	31.42
AC_604	85.385	2.896	0.617	0.014	11.09	0.097	0.407	32.18

¹Calculation took place under the weight assumption that 100% of total weight was elemental composition.

การลดลงของอัตราส่วน H/C และ O/C ของ ถ่านกัมมันต์เมื่อเทียบกับซังข้าวโพดดิบ เป็นการสลายตัวของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ [11] รวมถึงการคายน้ำระหว่างโมเลกุลที่ทำให้อัตราส่วนของ O/C ลดลงอย่างมาก [12] เชื้อเพลิงที่มีค่าอัตราส่วนของ H/C และ O/C ที่ต่ำนั้นถือว่ามีคุณสมบัติที่ดี เนื่องจากระหว่างกระบวนการเผาไหม้มีการลดลงของพลังงานที่สูญเสีย

ควันและปริมาณไอน้ำ [13] และในทางกลับกันในการผลิตถ่านกัมมันต์ให้มีความสามารถในการดูดซับ จะต้องมีการอัตราส่วนของ H/C และ O/C ที่สูง ซึ่งจาก Figure 3 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของอัตราส่วน H/C และ O/C ของ ถ่านกัมมันต์ที่ได้ ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้มีค่าอัตราส่วนของ H/C และ O/C ลดลง

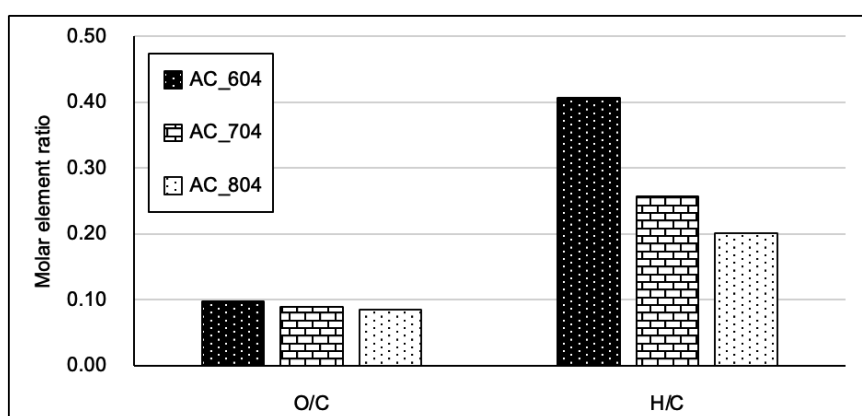


Figure 3 Molar element ratio of activated carbon from corn cob

Table 3 จะพบว่าเมื่อมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น สัดส่วนของคาร์บอนในถ่านจะมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 85.385-87.841 ในขณะที่ไฮโดรเจนและออกซิเจนกลับลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบดังกล่าวส่งผลให้อัตราส่วนของ O/C และ H/C ผลิตถ่านกัมมันต์จากตัวอย่างการทดลองมีค่าต่ำกว่าของซังข้าวโพด จะเห็นได้ว่าเมื่อความรุนแรงของปฏิกิริยาเพิ่ม

ขึ้นในอุณหภูมิที่สูงขึ้นอัตราส่วนของ O/C และ H/C จะมีค่าลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกิริยาไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง สอดคล้องกับค่าปริมาณคาร์บอนและค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น [14] ส่งผลให้การก่อกัมมันต์ที่อุณหภูมิสูงในสภาวะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะให้ผลผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีค่าพื้นที่ผิวสูงขึ้น

3.2 วิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างและรูปร่างของถ่านซึ่งข้าวโพดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่าถ่านซึ่งข้าวโพดของตัวอย่าง (a) D_804 เป็นกระบวนการให้ความร้อนโดยไม่ผ่านการทั้งกระตุ้นทางเคมีและกายภาพ จะมีรูพรุนขนาดเล็กและใหญ่มีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ บางจุดภายในรูพรุนมีอนุภาคขนาดเล็กเกาะปนอยู่ภายในหรือทางเข้าผิวด้านนอกและอุดตันอยู่ภายในรูพรุนเป็นจำนวนมากทั้งบริเวณพื้นผิวและข้างในรูพรุน และมีรูพรุนบางส่วนถูกปิดอุดตันหรือเป็นรอยตัดทำให้พื้นผิวบางส่วนของท่านไม่มีรูพรุน Figure 4 ส่งผลให้มีค่าพื้นที่ผิวและรูพรุนในปริมาณที่ต่ำ (Table 4) ส่วนตัวอย่าง (b) AC_804,

(c) AC_704 และ (d) AC_604 เป็นภาพรูพรุนขนาดต่างๆ ของถ่านซึ่งข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทั้งทางกายภาพด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ซึ่งรูพรุนเหล่านี้เกิดจากการสลายตัวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างคาร์บอนอะตอมกับสารก่อกัมมันต์ (H_3PO_4) ระหว่างกระบวนการก่อกัมมันต์ จากภาพถ่าย SEM จะมีลักษณะที่คล้ายกันคือขนาดและรูปร่างของรูพรุนบริเวณพื้นผิวของท่านที่ชัดเจน และมีอนุภาคขนาดเล็กที่ปนเปื้อนบนพื้นที่ผิวภายนอกและภายในรูพรุนเป็นจำนวนน้อยกว่าตัวอย่าง (a) D_804 เป็นอย่างมาก เนื่องจากมีกระบวนการก่อกัมมันต์ทางกายภาพระหว่างการให้ความร้อนโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นการกำจัดสิ่งเจือปนหรืออุดตันภายในรูพรุน (Figure 5-7)

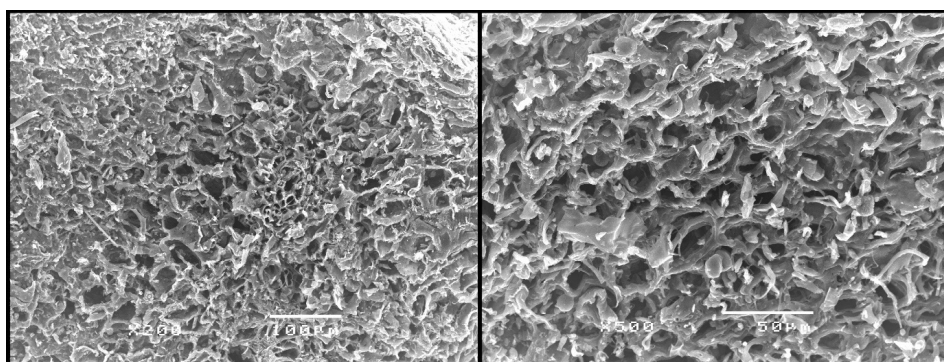


Figure 4 Observations with SEM: D_804 x200 and x500.

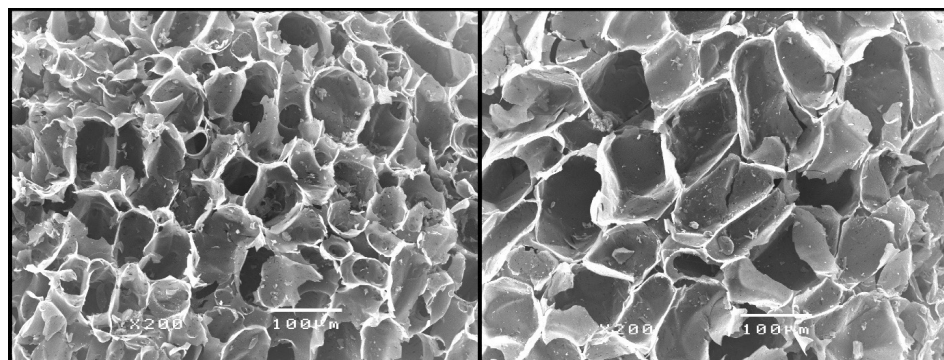


Figure 5 Observations with SEM: AC_804 x200.

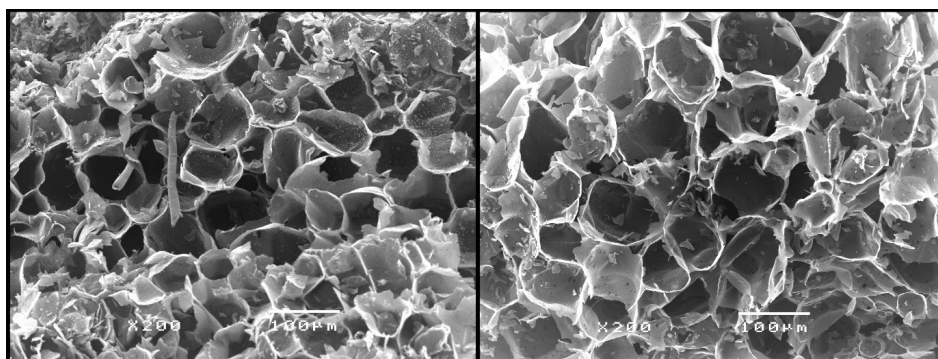


Figure 6 Observations with SEM: AC_704 x200.

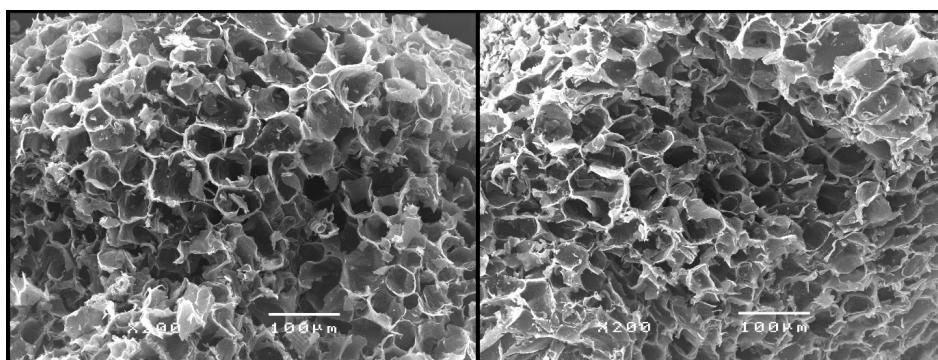


Figure 7 Observations with SEM: AC_604 x200.

3.3 วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุน

จากการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จาก ชังข้าวโพดโดยการก่อกัมมันต์ทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก และทางกายภาพด้านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดย ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลา (Table 4) พบว่า พื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์ของตัวอย่าง A_804 ที่ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ผ่านเพียง แค่การกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก จะมีค่าพื้นที่ ผิวสูงสุดเท่ากับ 1,219 ตารางเมตรต่อกรัม และตัวอย่าง

AC_804 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง โดยผ่านการกระตุ้นทั้งสองวิธีจะมีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 825 ตารางเมตรต่อกรัม หลังจากนั้นเมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่าน กระบวนการและอุณหภูมิดังกล่าวมาลดระยะเวลาการให้ ความร้อนของกระบวนการลงจาก 4 ชั่วโมง เป็น 3 และ 2 ชั่วโมง พบว่าได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวลดลงเท่ากับ 735 และ 770 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ แสดงว่า ระยะเวลาของการก่อกัมมันต์ที่ลดลงส่งผลทำให้พื้นที่ผิว ของถ่านกัมมันต์จากชังข้าวโพดลดลงด้วย

Table 4 The texture properties of the different activated carbons.

Samples	BET Surface area (m ² /g)	Pore volume (cc/g)	Average pore size (Å)
A_804	1219	0.5831	9.57
AC_804	825	0.3882	9.40
AC_803	735	0.3443	9.36
AC_802	770	0.3533	9.17

เมื่อนำซังข้าวโพดเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส 4 ชั่วโมง คือตัวอย่าง D_804 โดยไม่มีการกักมันต์ทางด้านเคมีและกายภาพ จะให้ผลผลิตที่มีพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อมีการผ่านการกักมันต์ทางด้านเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จะเป็นการเปลี่ยนแปลงของชีวมวล เริ่มต้นด้วยการแช่กรดทำให้สารละลายแทรกซึมเข้าไปกักกร่อนพื้นผิว และรูพรุนทำปฏิกิริยากับชีวมวลตั้งต้น และปรับเปลี่ยนองค์ประกอบทางด้านเคมี เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการดูดซับของผลผลิตที่ได้ให้ดียิ่งขึ้น โดยผลผลิตที่ไม่ผ่านการกักมันต์ทางเคมี คือ ตัวอย่าง D_804 และ DC_804 จะมีขนาดของรูพรุนจัดอยู่ในประเภทเมโซพอร์ส (Mesoporous) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2-50 นาโนเมตร แต่จะให้ปริมาตรของรูพรุนที่ 0.0350 และ 0.0420 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และเมื่อผลิตถ่านกักมันต์ โดยผ่านการกักมันต์ทางเคมีจะทำให้ขนาดรูพรุนของผลิตภัณฑ์ที่ได้เล็กลงน้อยกว่า 2 นาโนเมตร จัดอยู่ในประเภทของไมโครพอร์ส (Microporous) อีกทั้งยังส่งผลทำให้ปริมาตรของรูพรุนเพิ่มมากขึ้นอยู่ในช่วง 0.3443-0.5831 ลูกบาศก์เมตรต่อกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4 และทำให้มีพื้นที่ผิวสูงสุดเท่ากับ 1,219 ตารางเมตรต่อกรัม คือ ตัวอย่าง A_804 ซึ่งให้ค่าพื้นที่ผิวมากกว่าตัวอย่าง AC_804 มีค่าเท่ากับ 827 ตารางเมตรต่อกรัม เนื่องจากในกระบวนการผลิตถ่านกักมันต์ของงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการผลิตแบบวิธี Single-Step โดยมีการแปรสภาพ

วัตถุดิบตั้งต้นที่ผ่านการบดแล้วแช่ด้วยกรดฟอสฟอริก ทำให้ตัววัตถุดิบที่ได้นั้นมีลักษณะรูปร่างเป็นเม็ด มีพื้นที่ผิวสัมผัสที่น้อยกว่าวัตถุดิบชนิดผง เมื่อผ่านการกักมันต์ทางกายภาพด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อช่วยทำความสะอาดและกำจัดอนุภาคขนาดเล็กที่ปนเปื้อนหรืออุดตันภายในรูพรุน แต่ทำให้เกิดการอุดตันมากขึ้นส่งผลให้พื้นที่ผิวของถ่านที่ได้มีค่าลดลง

ถ่านกักมันต์ที่ได้จากการทดลองตัวอย่าง AC_804 ที่มีการผ่านการกักมันต์ทั้งทางเคมีและกายภาพจากการแปรสภาพที่อุณหภูมิสูง ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าพื้นที่ผิวสูงและมีปริมาตรรูพรุนที่สะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อนที่อุดตันภายในรูพรุน ดังข้อมูลที่ได้จากการทดลองและนำไปวิเคราะห์เพื่อทดสอบค่าไอโอดีนหรือความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของตัวอย่างถ่านกักมันต์ในสถานะนี้ โดยค่าไอโอดีนของผลิตภัณฑ์ถ่านกักมันต์จากซังข้าวโพดที่ผ่านการแปรสภาพวัตถุดิบจากการกักมันต์ทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ผ่านการให้ความร้อนด้วยกระบวนการไพโรไลซิส 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง และกักมันต์ทางกายภาพด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิเดียวกัน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะให้ค่าไอโอดีนเท่ากับ 546.46 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกักมันต์ ตามมาตรฐาน มอก. 900-2547 ที่มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อกรัม [15]

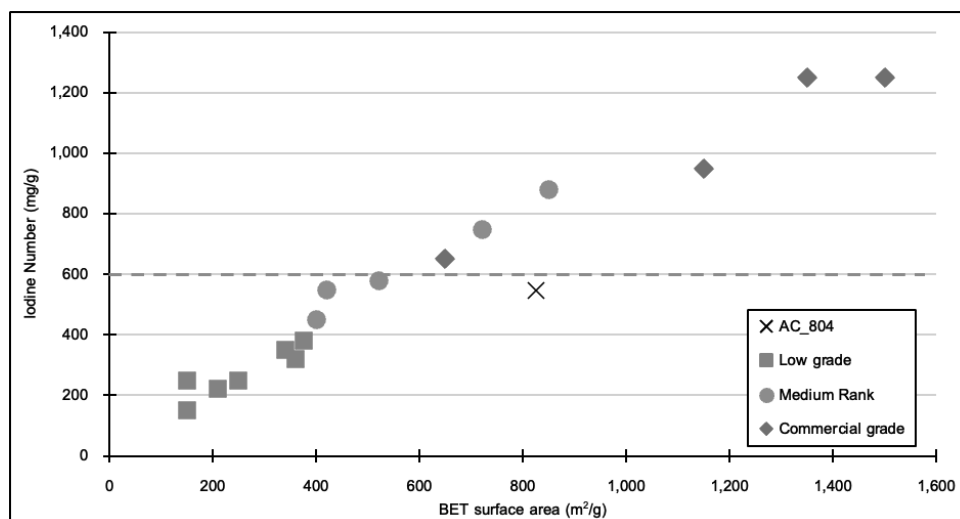


Figure 8 The correlation between the surface area according to the BET method and that resulted from the iodine adsorption number [16]

Figure 8 จะพบว่าค่าไอโอดีนหรือความสามารถในการดูดซับไอโอดีนจะแปรผันตามพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่จัดอยู่ในระดับคุณภาพต่ำจะมีค่าไอโอดีนอยู่ในช่วงประมาณ 150-400 มิลลิกรัมต่อกรัม มีค่าพื้นที่ผิวช่วงประมาณ 150-400 ตารางเมตรต่อกรัม ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์คุณภาพปานกลางมีค่าอยู่ในช่วง 400-900 มิลลิกรัมต่อกรัม มีค่าพื้นที่ผิวช่วงประมาณ 400-850 ตารางเมตรต่อกรัม และความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์คุณภาพเกรดการค้ามีค่าอยู่ในช่วง 650-1,200 มิลลิกรัมต่อกรัม มีค่าพื้นที่ผิวช่วงประมาณ 650-1,600 ตารางเมตรต่อกรัม [16] จากมาตรฐาน มอก. 900-2547 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ ควรจะมีค่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อกรัม ชนิดเม็ดชั้นคุณภาพพิเศษที่ 1,000 มิลลิกรัมต่อกรัม และชนิดเม็ดชั้นคุณภาพที่ 1 เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อกรัม [17] นอกจากนี้ค่าไอโอดีนของผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือ ตัวอย่างการทดลอง AC_804 มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 546.46 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ ตามมาตรฐาน มอก. 900-2547 จะเห็นได้

ว่าถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดที่ได้จากการงานวิจัยนี้ มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานและมีความสามารถในระดับเดียวกับคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่คุณภาพระดับปานกลาง

4. สรุป

จากการทดลองศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการนำซังข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาการเผาในที่โล่งและปัญหาฝุ่นควันในพื้นที่ภาคเหนือ มาใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงในวิธีการแบบขั้นตอนเดียว (Single-Step) ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยวิธีการก่อกัมมันต์ทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกและทางกายภาพด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สังเคราะห์ พบว่าการผลิตถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง A_804 โดยใช้วัตถุดิบจากซังข้าวโพดที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก และให้ความร้อนด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่สภาวะดังกล่าว จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าพื้นที่ผิว BET เท่ากับ 1,219.04 ตารางเมตรต่อกรัม นอกจากนี้การผลิตถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง AC_804 ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส

ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 546.46 มิลลิกรัมต่อกรัม และลักษณะทางอณูฐานวิทยาจากภาพ SEM จะพบรูพรุนต่างๆ กระจายตัวบนถ่านกัมมันต์และมีสิ่งปนเปื้อนน้อย แต่ผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีความสามารถในการดูดซับที่ต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด แสดงว่ากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดของงานวิจัยนี้ มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์พื้นที่ผิวสูงได้ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าซังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้กระบวนการวิธีแบบขั้นตอนเดียว (Single-Step) ให้ผลผลิตที่พื้นที่ผิวสูง มีโอกาสขยายผลสู่การผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนวิจัยภายในจากสถาบันวิจัยและพัฒนาผลงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

6. References

- [1] Office of Agricultural Economics, Agricultural Production, Available Source: <https://www.pcd.go.th/publication/26626>, April 17, 2023. (in Thai)
- [2] Dussadee, N., Suankhamkong, A., Thararak, C. and Homduang, N., The Study of Using Biomass in Economic Department and Unuse Biomass, Available Source: https://tarr.arda.or.th/preview/item/tX3MSRS_GPLzSC9xXvDFL, April 17, 2020. (in Thai)
- [3] Tseng, R.L. and Tseng, S.K., 2005, Pore Structure and Adsorption Performance of the KOH-Activated Carbons Prepared from Corncob, Journal of Colloid and Interface Science, 287: 428-437.
- [4] Hayashi, J., Kazehaya, A., Muroyama, K. and Watkinson, A.P., 2000, Preparation of Activated Carbon from Lignin by Chemical Activation, Carbon, 38: 1873-1878.
- [5] Youme, P., 2015, Preparation of Activated Carbon with High Surface Area from Wood Charcoal Powder by Chemical Activation, KKU Sci. J. 43(4): 788-798. (in Thai)
- [6] Youme, P., 2015, Preparation of activated carbon with High Surface Area from Wood Charcoal Powder by Dry Chemical Activation, KKU Science Journals, 43(4): 788-798. (in Thai)
- [7] Chuengsaman, T. and Atsawasaengrat, P., 2016, Synthesis Activated Carbon from Coffee Residue by Using Microwave Radiation, Ladkrabang Engineering Journal, 33(1). (in Thai)
- [8] Zhu, G.Z., Deng, X.L., Hou, M., Sun, Kang., Zhang, Y.P., Li, Ping. And Liang, F.M., 2016, Comparative Study on Characterization and Adsorption Properties of Activated Carbons by Phosphoric Acid Activation from Corncob and its Acid and Alkaline Hydrolysis Residues, Fuel Processing Technology, 144: 255-261.
- [9] Gebreegziabhera, T.B., Wang, S. and Nam, H., 2019, Adsorption of H₂S, NH₃ and TMA from Indoor Air using Porous Corn-cob Activated Carbon: Isotherm and Kinetics Study, Journal of Environmental Chemical Engineering, 7: 103234.

- [10] Li, Z., Niu, S., Liu, J. and Wang, Y., 2022, Solid Fuel Production from Co-hydrothermal Carbonization of Polyvinyl Chloride and Corncob: Higher Dechlorination Efficiency and Process Water Recycling, *Science of The Total Environment*, 843: 157082.
- [11] Donar, Y.O., Çağlar, E., and Sinağ, A., 2016, Preparation and Characterization of Agricultural Waste Biomass Based Hydrochars, *Fuel*, 183: 366-372.
- [12] Inagaki, M., Park, K. C. and Endo, M., 2010, Carbonization under Pressure. *New Carbon Materials*, 25(6): 409-420.
- [13] Liu, H.-M., Li, M.-F. and Sun, R.-C. 2013, Hydrothermal Liquefaction of Cornstalk: 7-Lump Distribution and Characterization of Products, *Bioresource Technology*, 128: 58-64.
- [14] Katanit, P., 2019, Hydrochar and Char Pellet Production from Hydrothermal Carbonization of Organic Wastes, Chiang Mai University, Chiang Mai, 120 p. (in Thai)
- [15] Thai Industrial Standards Institute, Thai Industrial Standard Activated Carbon, Available Source: http://www.fio.co.th/web/tisi_fio/fulltext/TIS900-2547.pdf, April 17, 2023. (in Thai)
- [16] Miaowski, A., Owczarek, M. and Marecka, 2007, A. Surface Area of Activated Carbon Determined by the Iodine Adsorption Number, *Energy Sources*, 29: 839-850.
- [17] Thai Industrial Standards Institute, 2547, TIS 900-2547: Activated carbon, 121(79), p. 8. (in Thai)