



## การผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยการก่อกัมมันต์ร่วมด้วยกรด ฟอสฟอริกและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

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

อัฒม์ จันทบุตร<sup>1</sup> อาศิรา บุญแถม<sup>2</sup>, พฤกษ์ อักกะรังสี<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

<sup>2</sup>นักวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50100

<sup>3</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

Ath Jantaboot<sup>1</sup> Asira Bunkham<sup>2</sup>, Pruk Aggarangsi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Energy Engineering Faculty of Engineering Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

<sup>2</sup>Energy Research and Development Institute - Nakorping, Chiang Mai University 50100

<sup>3</sup>Department 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 โดยได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะการก่อกัมมันต์ 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 m<sup>2</sup>/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 โดยเฉพาะซึ่งข้าวโพดจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่ไม่ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ 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 และซึ่งข้าวโพดซึ่งเศษวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์และเกษตรกรจะกำจัดโดยวิธีการเผา ซึ่งการเผาจะทำให้เกิดควันเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรในชุมชนที่อาศัยในพื้นที่นั้น ในส่วนของต้นข้าวโพดเกษตรกรจะนำไปเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เช่น วัว ควาย ช้าง เป็นต้น ดังนั้นหากมีการจัดการกับวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพด ก็จะช่วยลดการเผาของเกษตรกรลงได้ ซึ่งจากการประเมินสัดส่วนชีวมวลของข้าวโพดจะ

แบ่งออกเป็นซังข้าวโพดร้อยละ 20.14 และเป็นเปลือกข้าวโพดร้อยละ 6.02 จากนั้นหนักของต้นข้าวโพด [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 และเป็นวัสดุเก็บพลังงาน 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 ที่มีค่าสูงมาก เนื่องจากสภาวะความเป็นกรดของสารละลายมีความสามารถในการกัดกร่อนและกำจัดสิ่งสกปรก (Cauterization) ออกจากรูเล็กๆ ที่อยู่ภายในรูพรุน และจากงานวิจัยเหล่านี้จะเป็นการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยกระบวนการเผาแบบ Two-Step หรือการผลิตด้วยวิธีการเผาแบบ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก คือ การคาร์บอนไนซ์ชีวมวลหรือวัตถุดิบตั้งต้น เป็นการใช้ความร้อนทำให้สารระเหยและสลายตัวออกจากวัตถุดิบ ได้ผลผลิตของแข็งสีดำ เรียกว่า ถ่านหรือถ่านชาร์ ส่วนขั้นตอนที่สอง คือ การก่อกัมมันต์ เป็นการทำให้ผิวถ่านเกิดรูพรุนขนาดต่างๆ โดยการก่อกัมมันต์ทั่วไปมี 2 วิธี คือ การก่อกัมมันต์ทางกายภาพและเคมี ซึ่งจะเป็นการนำถ่านชาร์ที่ได้จากขั้นตอนแรกมาก่อกัมมันต์ทางเคมีด้วยการแช่สารเคมี และกระตุ้นทางกายภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะได้ผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ แต่การผลิตหรือทดลองในกระบวนการให้ความร้อนในการเตรียมถ่านชาร์และก่อกัมมันต์นั้น จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงและแบ่งการให้ความร้อนออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนั้น ในการผลิตถ่านกัมมันต์แต่ละครั้งนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาให้เตาปฏิกรณ์หรือเตาเผาที่ใช้ในการให้ความร้อนนั้นเย็นลงจนถึงอุณหภูมิแวดล้อมก่อน 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 และนำซังข้าวโพดที่ได้ผ่านการอบ 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 ซึ่งเตาเผาแบบท่อสุญญากาศนี้มีพื้นที่ผิวตัวเตาเป็นคอนกรีตและภายนอกหุ้มด้วยเหล็ก 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 และเลขหลักหน่วยตำแหน่งสุดท้ายของชื่อตัวอย่างแสดงแทนระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการให้ความร้อน นอกจากนี้ได้กำหนดให้ชื่อต้นของตัวอย่างการทดลองด้วยการใช้อักษรย่อประกอบด้วย D คือ

ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการก่อกัมมันต์ทั้งทางกายภาพและเคมี, A คือ ตัวอย่างที่ผ่านการก่อกัมมันต์ทางเคมี ด้วยกรด, C คือ ตัวอย่างที่ผ่านการก่อกัมมันต์ทางกายภาพ ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และตามด้วยตัวเลขที่ระบุอุณหภูมิและระยะเวลาการคงอุณหภูมิ (retention time) ในหน่วยชั่วโมง เช่น D\_804 หมายถึงตัวอย่างที่

ไม่ผ่านการก่อกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง AC\_702 หมายถึง ตัวอย่างที่ผ่านการก่อกัมมันต์ทั้งแบบเคมีและกายภาพ อบอุ่นอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เป็นต้น โดยแบ่งตัวอย่างการทดลองออกเป็น 8 ตัวอย่าง (Table 1)

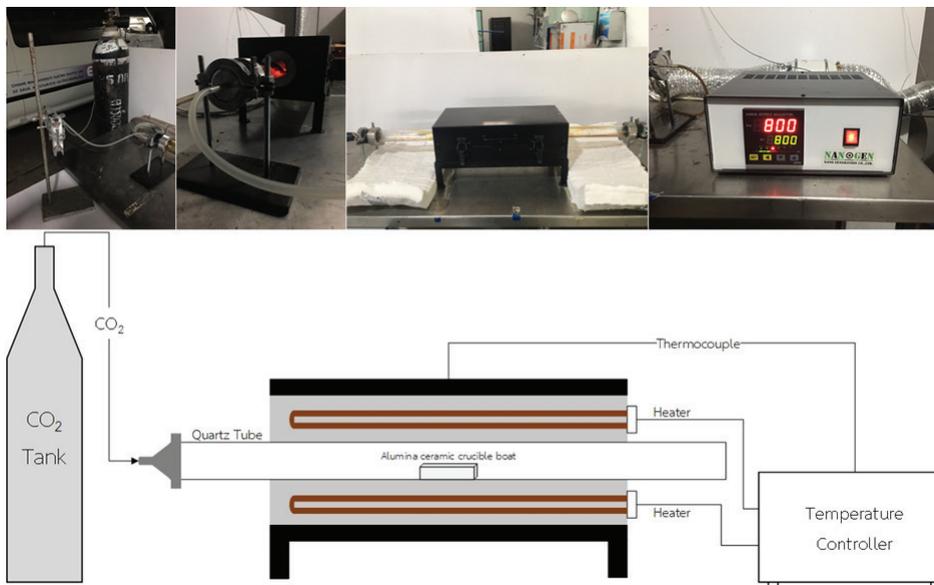


Figure 1 Lab-scale reactors: vacuum atmosphere tube furnace.

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

No	Samples	Pyrolysis process		Activated by CO <sub>2</sub>	Activated by H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	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) เป็นการศึกษาเพื่อหาค่าองค์ประกอบทางด้านเคมีของถ่านกัมมันต์ 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 ซึ่งจากการทดลองดังกล่าวจะพบว่าผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่ชังข้าวโพดในกระบวนการไพโรไลซิสและการก่อกัมมันต์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของถ่านชังข้าวโพดเป็นอย่างมาก ผลผลิตสุดท้ายที่ได้ของถ่านชังข้าวโพดจะแปรผกผันกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่กระบวนการ โดยการให้ความร้อนสูงขึ้นและระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้นจะส่งผลให้ผลิตถ่านชังข้าวโพดที่ได้น้อยลง



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 พบว่าจะได้ผลผลิตสูงขึ้นไปร้อยละ 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 คือเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นและระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น จะทำให้คาร์บอนและไนโตรเจนเพิ่มขึ้น แต่ไฮโดรเจนและออกซิเจนจะลดลง ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แสดงว่าคาร์บอนในถ่านจะมีค่าสูงขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่ให้แก่กระบวนการ แต่จะส่งผลให้ทำให้ให้ออกซิเจนในถ่านมีค่าลดลง 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 <sup>1</sup>			
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

<sup>1</sup>Calculation 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

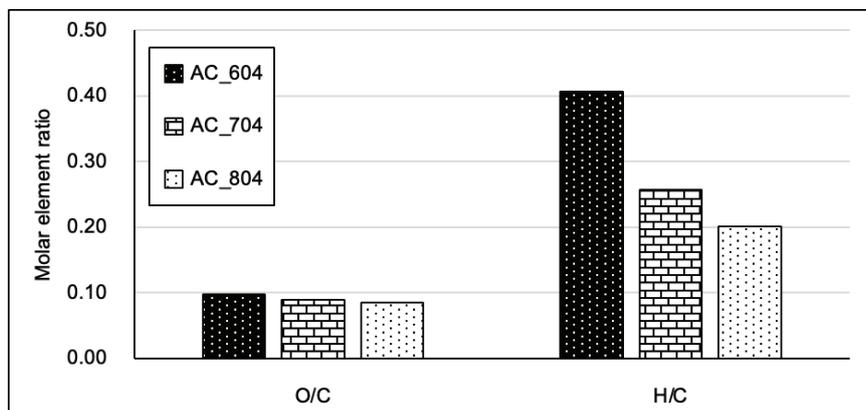


Figure 3 Molar element ratio of activated carbon from corncob

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

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

### 3.2 วิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างและรูปร่างของถ่านซึ่งข้าวโพดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่าถ่านซึ่งข้าวโพดของตัวอย่าง (a) D\_804 เป็นกระบวนการให้ความร้อนโดยไม่ผ่านการทั้งกระตุ้นทางเคมีและกายภาพ จะมีรูพรุนขนาดเล็กและใหญ่มีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ บางจุดภายในรูพรุนมีอนุภาคขนาดเล็กเกาะปนอยู่ภายในหรือทางเข้าผิวด้านนอกและอุดตันอยู่ภายในรูพรุนเป็นจำนวนมากทั้งบริเวณพื้นผิวและข้างในรูพรุน และมีรูพรุนบางส่วนถูกปิดอุดตันหรือเป็นรอยตัดทำให้พื้นผิวบางส่วนของถ่านไม่มีรูพรุน 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 จะมีลักษณะที่คล้ายกันคือขนาดและรูปร่างของรูพรุนบริเวณพื้นผิวของถ่านที่ชัดเจน และมีอนุภาคขนาดเล็กที่ปนเปื้อนบนพื้นผิวภายนอกและภายในรูพรุนเป็นจำนวนน้อยกว่าตัวอย่าง (a) D\_804 เป็นอย่างมาก เนื่องจากมีกระบวนการก่อกัมมันต์ทางกายภาพระหว่างการให้ความร้อนโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นการกำจัดสิ่งเจือปนหรืออุดตันภายในรูพรุน (Figure 5-7)

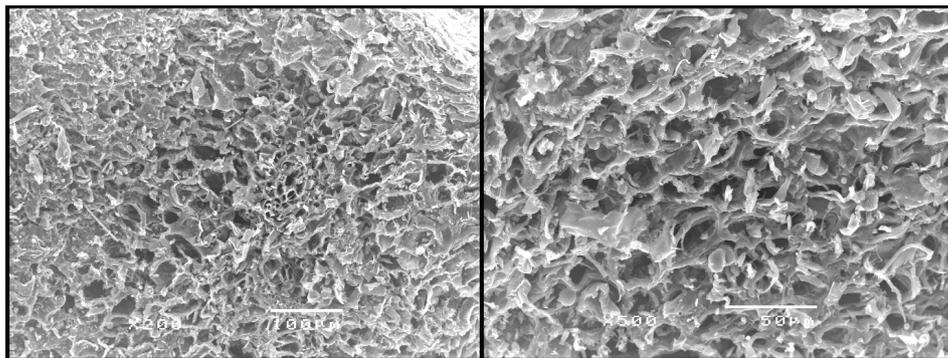


Figure 4 Observations with SEM: D\_804 x200 and x500.

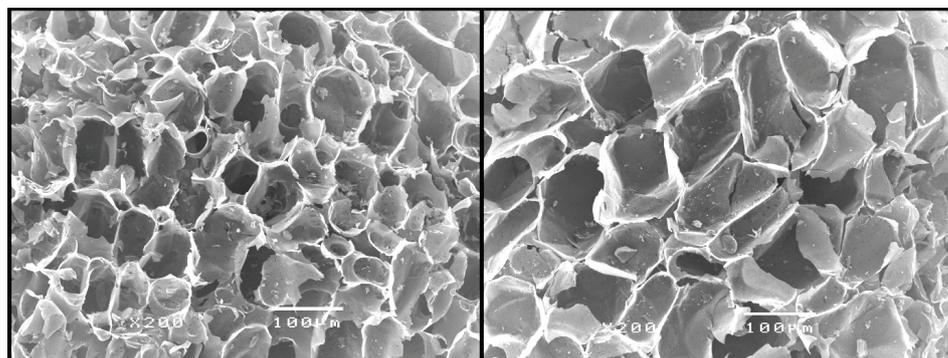


Figure 5 Observations with SEM: AC\_804 x200.

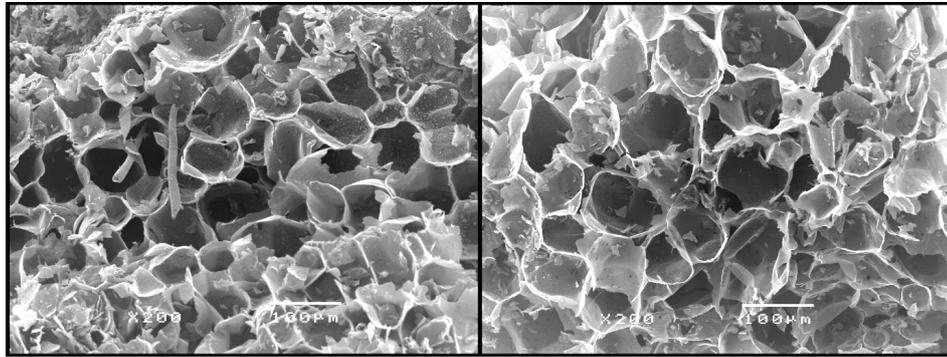


Figure 6 Observations with SEM: AC\_704 x200.

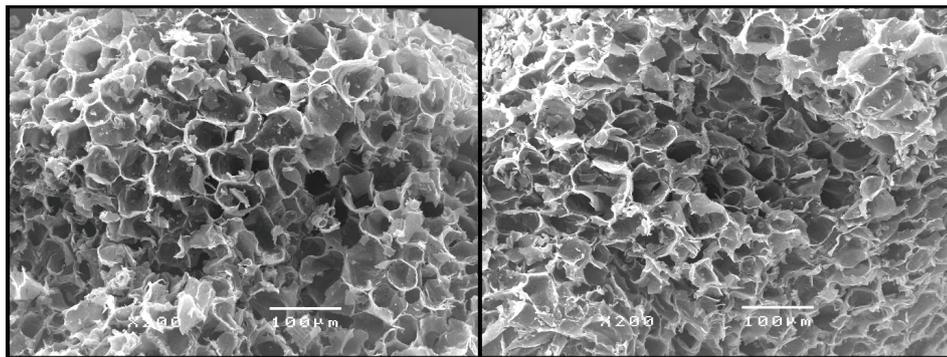


Figure 7 Observations with SEM: AC\_604 x200.

### 3.3 วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุน

จากการการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยการก่อกัมมันต์ทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก และทางกายภาพด้านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลา (Table 4) พบว่าพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์ของตัวอย่าง A\_804 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ผ่านเพียงแค่การกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก จะมีค่าพื้นที่ผิวสูงสุดเท่ากับ 1,219 ตารางเมตรต่อกรัม และตัวอย่าง

AC\_804 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง โดยผ่านการกระตุ้นทั้งสองวิธีจะมีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 825 ตารางเมตรต่อกรัม หลังจากนั้นเมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการและอุณหภูมิดังกล่าวมาลดระยะเวลาการให้ความร้อนของกระบวนการลงจาก 4 ชั่วโมง เป็น 3 และ 2 ชั่วโมง พบว่าได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวลดลงเท่ากับ 735 และ 770 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ แสดงว่าระยะเวลาของการก่อกัมมันต์ที่ลดลงส่งผลทำให้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดลดลงด้วย

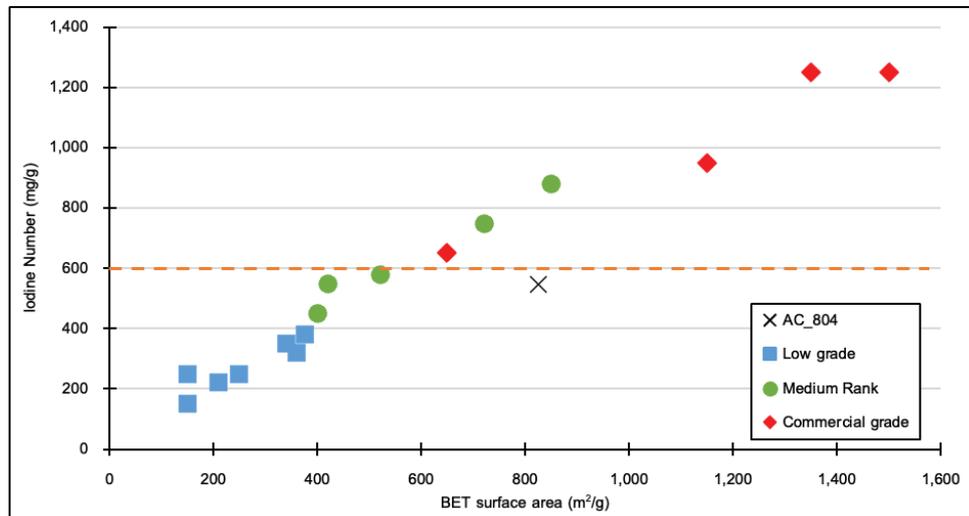
**Table 4** The texture properties of the different activated carbons.

Samples	BET Surface area (m <sup>2</sup> /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 โดยไม่มีการก่อกัมมันต์ทางด้านเคมีและกายภาพ จะให้ผลผลิตที่มีพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อมีการผ่านการก่อกัมมันต์ทางด้านเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จะเป็นการเปลี่ยนแปลงของชีวมวล เริ่มต้นด้วยการแช่กรดทำให้สารละลายแทรกซึมเข้าไปกักต่อน้ำในผิว และรูพรุนทำปฏิกิริยากับชีวมวลตั้งต้น และปรับเปลี่ยนองค์ประกอบทางด้านเคมี เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการดูดซับของผลผลิตที่ได้ให้ดียิ่งขึ้น โดยผลผลิตที่ไม่ผ่านการก่อกัมมันต์ทางเคมี คือ ตัวอย่าง D\_804 และ DC\_804 จะมีขนาดของรูพรุนจัดอยู่ในประเภทเมโซพอร์ส (Mesoporous) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2-50 นาโนเมตร แต่จะให้ปริมาตรของรูพรุนที่ 0.0350 และ 0.0420 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และเมื่อผลิตถ่านกัมมันต์โดยผ่านการก่อกัมมันต์ทางเคมีจะทำให้ขนาดรูพรุนของผลิตภัณฑ์ที่ได้เล็กลงน้อยกว่า 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 เนื่องจากในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ของงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการผลิตแบบวิธี Single-Step โดยมีการแปรสภาพ

วัตถุดิบตั้งต้นที่ผ่านการบดแล้วแช่ด้วยกรดฟอสฟอริก ทำให้ตัววัตถุดิบที่ได้นั้นมีลักษณะรูปร่างเป็นเม็ด มีพื้นที่ผิวสัมผัสที่น้อยกว่าวัตถุดิบชนิดผง เมื่อผ่านการก่อกัมมันต์ทางกายภาพด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อช่วยทำความสะอาดและกำจัดอนุภาคขนาดเล็กที่เป็นเปื้อนหรืออุดตันภายในรูพรุน แต่ทำให้เกิดการอุดตันมากขึ้นส่งผลให้พื้นที่ผิวของถ่านที่ได้มีค่าลดลง

ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการทดลองตัวอย่าง AC\_804 ที่มีการผ่านการก่อกัมมันต์ทั้งทางเคมีและกายภาพจากการแปรสภาพที่อุณหภูมิสูง ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าพื้นที่ผิวสูงและมีปริมาตรรูพรุนที่สะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อนที่อุดตันภายในรูพรุน ดังข้อมูลที่ได้จากการทดลองและนำไปวิเคราะห์เพื่อทดสอบค่าไอโอดีนหรือความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของตัวอย่าง ถ่านกัมมันต์ในสถานะนี้ โดยค่าไอโอดีนของผลิตภัณฑ์ ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดที่ผ่านการแปรสภาพวัตถุดิบจากการก่อกัมมันต์ทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ผ่านการให้ความร้อนด้วยกระบวนการไพโรไลซิส 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง และก่อกัมมันต์ทางกายภาพด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิเดียวกัน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะให้ค่าไอโอดีนเท่ากับ 546.46 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ 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 การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 546.46 มิลลิกรัมต่อกรัม และลักษณะทางอณูโครงสร้างจากภาพ SEM จะพบรูพรุนต่างๆ กระจายตัวบนถ่านกัมมันต์และมีสิ่งปนเปื้อนน้อย แต่ผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีคุณสมบัติในการดูดซับที่ต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด แสดงว่ากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดของงานวิจัยนี้ มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์พื้นที่ผิวสูงได้ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าซังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้กระบวนการวิธีแบบขั้นตอนเดียว (Single-Step) ให้ผลผลิตที่พื้นที่ผิวสูง มีโอกาสขยายผลสู่การผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนวิจัยภายในจากสถาบันวิจัยและพัฒนาผลงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

## 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](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] Chuengsamarn, 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 H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> and TMA from Indoor Air using Porous Corncob 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](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)