

การผลิตและวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านชีวภาพซังข้าวโพดเมื่อใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่

Production and Characterization of Corncob Bio-char with Using Moving Bed Pyrolyser

พงษ์ภิญโญ ปัญญะใหญ่¹ ชูรัตน์ ธารารักษ์¹ กิตติกร สาสุจิตต์¹ นำพร ปัญญะใหญ่² และนิกราน หอมดวง^{1*}
Pongpinyo¹ Panyoyai Churat Thararux¹ Kittikorn Sasujit¹ Numpon Panyoyai² and Nigran Homdoug¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

²คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

¹School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

²Agricultural Engineering, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding author: Tel.: 084 177 3632. E-mail: nigranghd@gmail.com

Received: 30 June 2021, Revised: 20 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

The objective of this research was to produce and analyze the properties of corncob bio-char with using moving bed pyrolyser. with a capacity of 280 L. The LPG gas is the fuel for heating. Used motor and Reduction gear to stir the corn cobs. The outside of the reactor is insulated. It could heat to 700-800 °C, used corncob with a moisture content of less than 20%. Biochar production 3 times, and take them for chemical analysis. The results showed that using a moving bed pyrolyser heat temperature up to 590 °C, and average temperature 477 °C. The yields of the process consist of Bio-Char, Wood Vinegar and pyrolysis gas accounted for 28.5%, 12.2% and 59.3%, respectively. The highest fixed carbon content 70.95%, the lowest volatile matter 22.39% and calorific value 28.55 MJ/kg. The physical characteristics were in accordance with the theory of charcoal production. In addition, biochar can be promoted to the community to produce briquettes. And in agriculture, biochar can also be produced as a soil conditioner for cultivation and reduce the acidity of the soil.

Keywords: pyrolysis process, pyrolysis reactor, bio-char, corn cob



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตและวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่มีความจุขนาด 280 L โดยใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการให้ความร้อน ใช้มอเตอร์และชุดเกียร์ทดในการหมุนทวนซังข้าวโพด ภายนอกเครื่องปฏิกรณ์ด้วยอุณหภูมิความร้อน สามารถสร้างอุณหภูมิได้ 700-800 °C ใช้ซังข้าวโพดที่มีความชื้นน้อยกว่า 20% ทำการผลิตถ่านชีวภาพ 3 ครั้ง นำถ่านชีวภาพที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ผลการทดสอบพบว่าการใช้เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเบดเคลื่อนที่สร้างอุณหภูมิสูงสุด 590 °C โดยให้อุณหภูมิไพโรไลซิสเฉลี่ย 477 °C ผลผลิตจากกระบวนการประกอบด้วย ถ่านชีวภาพ น้ำส้มควันไม้ และไพโรไลซิสแก๊ส คิดเป็น 28.5%, 12.2% และ 59.3%ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนคงที่สูงสุด 70.95% และสารระเหยต่ำ 22.39% โดยมีค่าความร้อน 28.55 MJ/kg ส่วนลักษณะทางกายภาพเป็นไปตามทฤษฎีของการผลิตถ่าน นอกจากนี้ถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ยังสามารถนำส่งเสริมใช้ชุมชนนำไปผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง และในภาคการเกษตรถ่านชีวภาพยังสามารถผลิตเป็นปุ๋ยปรับปรุงดินในการเพาะปลูกและลดความเป็นกรดของดินได้

คำสำคัญ กระบวนการไพโรไลซิส เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส ถ่านชีวภาพ ซังข้าวโพด

บทนำ

ข้าวโพดนับเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทย ส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ พื้นที่ผลิตข้าวโพดของโลก ได้แก่ จีน บราซิล สหรัฐอเมริกา และยุโรป เป็นต้น ในขณะที่ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในจังหวัดน่าน ตาก เพชรบูรณ์ เลย และนครราชสีมา มีผลผลิตรวม 2.74 ล้านตันต่อปี โดยทั่วไปหลังจากการสีข้าวโพด ประมาณ 30% ของผลผลิตจะเป็นซังข้าวโพด ในอดีตเกษตรกรเคยเผาเพื่อทำลายซังข้าวโพดที่ไร้ประโยชน์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ปัญหาเรื่องฝุ่น ปัญหาหมอกควัน และมลพิษทางอากาศ เป็นต้น อย่างไรก็ตามซังข้าวโพดเมื่อนำเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิส จะส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงที่ และค่าความร้อนเพิ่มขึ้น สามารถนำมาใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งหรือเชื้อเพลิงอัดเม็ด นอกจากนี้ในภาคการเกษตรซังข้าวโพดยังสามารถผลิตเป็นถ่านชีวภาพเพื่อใช้เป็นสารปรับปรุงดินในการเพาะปลูก และสามารถลดความเป็นกรดของดินได้ โดยทั่วไปการผลิตถ่านชีวภาพจากเตาเผาถ่านแบบเบดคงที่ เช่น เตาอิฐ เตาเผาโลหะที่เคลื่อนย้ายได้ เตาเผาแบบหลุม เตาเผาแบบกอง เตาเผาถ่านแบบมิสซูรี และเตาเผาถ่าน 200 ลิตร เป็นต้น จะมีข้อบกพร่องในเรื่องของการใช้ระยะเวลาในการเผาถ่านชีวภาพ เช่น เตาเผาถ่าน 200 ลิตร ใช้ระยะเวลาในการเผามากกว่า 8 ชั่วโมง เป็นต้น และที่สำคัญปริมาณถ่านที่ได้นั้นมีจำนวนน้อย เนื่องจากระหว่างกระบวนการมีอากาศเข้าสู่เตา ทำให้ชีวมวลหรือถ่านชีวภาพบางส่วนกลายเป็นขี้เถ้า ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตต่อรอบลดลง ซึ่งการไพโรไลซิสที่ถูกต้องตามทฤษฎี คือการให้ความร้อนแก่ห้องไพโรไลซิสโดยปราศจากออกซิเจนหรืออากาศ เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียมวลของถ่านชีวภาพในระหว่างกระบวนการ ดังนั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ในการพัฒนาและศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพจากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ เพื่อแก้ไขปัญหาในส่วนของระยะเวลาการผลิตถ่านชีวภาพ และลดการสูญเสียมวลของถ่านชีวภาพ นั่นเอง

วิธีการวิจัย

การเตรียมชีวมวล

ชีวมวลที่ใช้สำหรับงานทดสอบนี้ คือ ชังข้าวโพด ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ได้จากการสีข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากแปลงทดลองปลูกข้าวโพด สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ดังแสดงในภาพที่ 1 สำหรับงานวิจัยนี้ได้มีการเตรียมชังข้าวโพดให้มีขนาดอยู่ในช่วง 2-3.5 inch ความชื้นน้อยกว่า 20% ความหนาแน่น 111.35 kg/m³ และค่าความร้อนเริ่มต้น 14.6 MJ/kg โดยรายละเอียดคุณสมบัติทางเคมีของชังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ชังข้าวโพด

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีของชังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Proximate Analysis (%wt.)		Ultimate Analysis (%wt.)	
MS	9.42	C	44.12
VM	79.51	H	8.52
FC	9.78	N	0.45
AC	1.29	O	46.85
		S	0.06

อุปกรณ์และเครื่องมือการทดสอบ

ชุดทดสอบกระบวนการไพโรไลซิสสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ชุดให้ความร้อนโดยใช้หัวเตาแก๊สขนาด KB 10 เป็นตัวให้พลังงานความร้อนแก่ห้องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส ชุดควบคุมแรงดันทำจากท่อสแตนเลสเกรด 304 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 inch ขดเป็นเกลียว ใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน และห้องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเบดเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นห้องที่บรรจุชีวมวลเพื่อผลิตถ่านชีวภาพ มีปริมาตร 280 L จะมีการต่อท่อสแตนเลสเพื่อส่งไพโรไลซิสแก๊สไปยังชุดควบคุม จะมื่อสามทางสำหรับระบายน้ำส้มควันไม้ไปยังถังรองรับน้ำส้มควันไม้ที่อยู่ด้านล่างก่อนปล่อยแก๊สไปสู่อากาศ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ชุดทดสอบกระบวนการไพโรไลซิสแบบเบดเคลื่อนที่

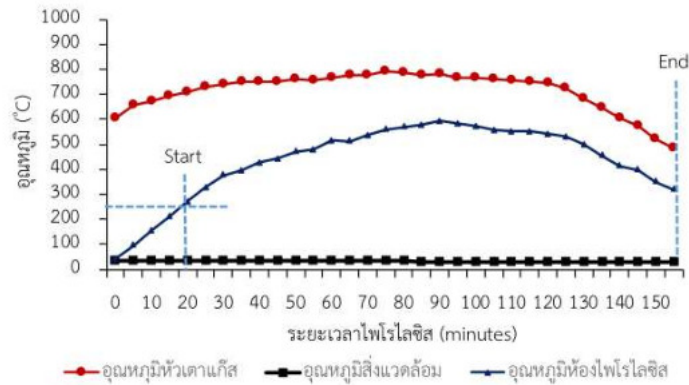
วิธีการทดสอบ

การทดสอบการผลิตถ่านชีวภาพด้วยเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเบดเคลื่อนที่ เริ่มจากการนำขี้ข้าวโพดใส่ลงในห้องไพโรไลซิส 30 kg จากนั้นทำการปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ห้องไพโรไลซิส เพื่อไล่อากาศ ขั้นตอนต่อไปทำการตั้งค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ย 500 °C พร้อมจุดเตาแก๊สเพื่อให้ความร้อนแก่ห้องไพโรไลซิส เปิดสวิตช์มอเตอร์เกียร์สำหรับการหมุนวนขี้ข้าวโพดในห้องปฏิกรณ์ ระหว่างการทดสอบจะเกิดไพโรไลซิสแก๊สขึ้น และจะเคลื่อนตัวไหลผ่านท่อสแตนเลสไปยังชุดควบแน่นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้แก๊สเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำหรือเรียกว่า น้ำส้มควันไม้ ซึ่งน้ำส้มควันไม้จะไหลลงไปยังรูระบายที่มีถังรองรับน้ำส้มควันไม้อยู่ด้านล่าง จากนั้นหากสังเกตเห็นว่าไม่มีไพโรไลซิสแก๊สออกมาจากปล่องไฟของเครื่องปฏิกรณ์ ให้ปิดระบบให้ความร้อน ปิดระบบหมุนวน และทำการถอดท่อไม่ให้อากาศเข้าไปในห้องปฏิกรณ์ รอให้อุณหภูมิในห้องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสเย็นตัวลง แล้วเก็บผลผลิตถ่านชีวภาพและน้ำส้มควันไม้ เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการทดสอบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์อุณหภูมิและระยะเวลาการผลิตถ่านชีวภาพขี้ข้าวโพด

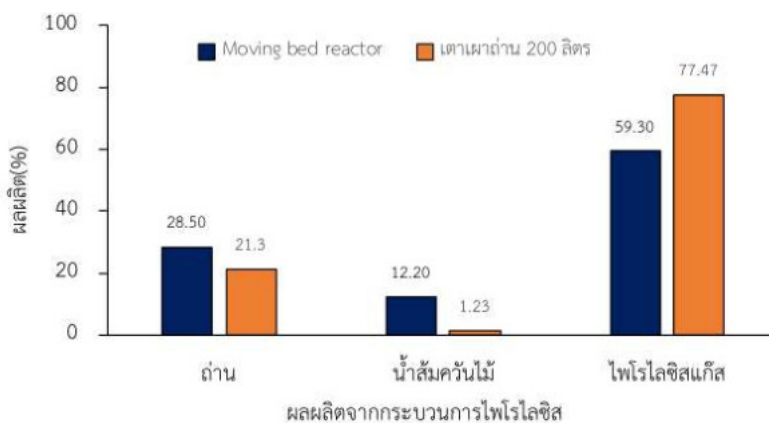
ภาพที่ 3 แสดงเส้นแนวโน้มของอุณหภูมิภายในห้องไพโรไลซิสของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ เมื่อผลิตถ่านชีวภาพจากขี้ข้าวโพดและเส้นอุณหภูมิเปลวไฟจากหัวเตาแก๊สหุงต้ม รุ่น KB 10 การทดสอบอุณหภูมิห้องไพโรไลซิสเริ่มต้นจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดสิ้นสุดของกระบวนการซึ่งใช้เวลารวมทั้งหมด 155 min (สังเกตจากปริมาณไพโรไลซิสแก๊สทั้งหมดลง) การใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ใช้เวลาเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิสได้เร็ว คือ ใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ในช่วง 20-25 min อุณหภูมิภายในห้องไพโรไลซิสมีอุณหภูมิเฉลี่ย 250 °C และหลังจากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยให้อุณหภูมิสูงสุด 590 °C ในภาพรวมของอุณหภูมิไพโรไลซิสตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนถึงสิ้นสุดกระบวนการจะมีค่าเฉลี่ย 477 °C ซึ่งสอดคล้องกับผลอุณหภูมิการทดลองในห้องปฏิบัติการที่ให้ค่าเหมาะสมสูงสุด [1] ในส่วนของอุณหภูมิหัวเตาแก๊สจากเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้มที่ให้ความร้อนแก่ห้องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่อุณหภูมิสูงสุด 790 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดช่วงเวลากการทำงาน 712 °C



ภาพที่ 3 อุณหภูมิไพโรไลซิสเทียบระยะเวลาไพโรไลซิสในการผลิตถ่านซึ่งข้าวโพดของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่

ผลผลิตที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่

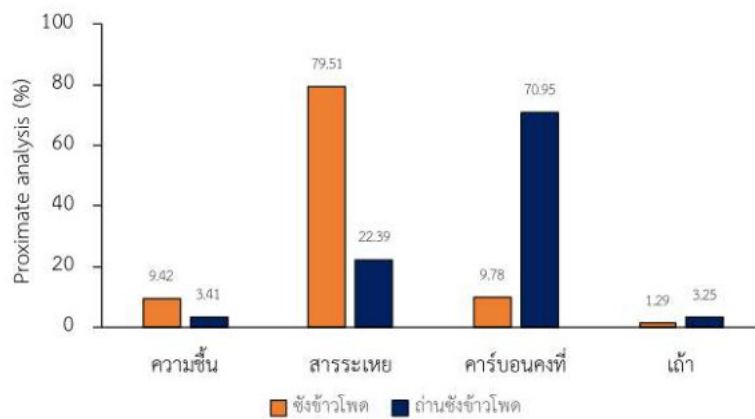
ภาพที่ 4 แสดงผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ ผลผลิตที่ได้ ประกอบด้วย ถ่านชีวภาพ น้ำส้มควันไม้ และไพโรไลซิสแก๊ส โดยถ่านชีวภาพที่ได้ให้ปริมาณสูงสุดเฉลี่ย 28.50% ในขณะที่น้ำส้มควันไม้ให้ปริมาณสูงสุด 12.20% และที่เหลือมีสภาพเป็นแก๊สเชื้อเพลิง เรียกว่า ไพโรไลซิสแก๊ส สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมการให้ความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ได้ หรือนำไปใช้เป็นหัวเผาทดแทนแก๊สหุงต้มและเครื่องยต์กำเนิดไฟฟ้าได้ [2] การเปรียบเทียบกับเตาเผาถ่านแบบพิกส์เบด ขนาด 200 ลิตร พบว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ ให้ปริมาณถ่านชีวภาพและน้ำส้มควันไม้ในปริมาณที่สูงกว่า โดยทั่วไปเตาเผาถ่านแบบ 200 ลิตร จะให้ผลผลิตถ่านอยู่ในช่วง 20-22% และให้น้ำส้มควันไม้ในช่วง 0.5-1 L คิดเป็น 1.25% เมื่อเทียบกับน้ำหนักชีวมวลที่ป้อนเข้า [3] ในด้านของไพโรไลซิสแก๊สที่วิเคราะห์ได้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ ให้ปริมาณไพโรไลซิสแก๊สต่ำคิดเป็น 59.30% ในขณะที่เตาเผาถ่านแบบ 200 ลิตร ให้ค่าสูงถึง 77.47% องค์ประกอบของแก๊สที่ปล่อยออกระหว่างกระบวนการนี้ จะมีทั้งไพโรไลซิสแก๊สและความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อของซึ่งข้าวโพดที่ป้อนเข้า ปริมาณแก๊สที่ปล่อยออกมากเกินไปเป็นสาเหตุก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม การรำคาญ และปัญหาสุขภาพของคนในชุมชน [4]



ภาพที่ 4 ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสซึ่งข้าวโพด

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีถ่านชีวภาพ

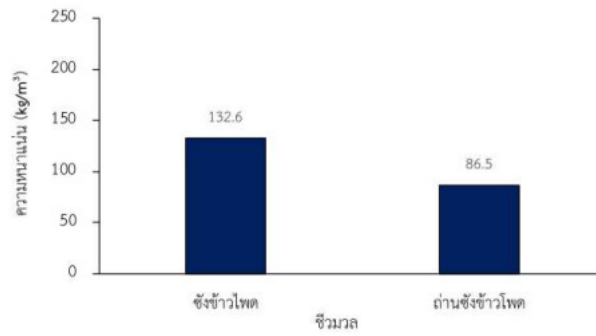
ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพเทียบกับคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลซังข้าวโพด พบว่ากระบวนการไพโรไลซิสซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 400-600 °C จะทำให้ความชื้นและสารระเหยลดลง ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนคงที่และเถ้ามีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณคาร์บอนคงที่ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพซังข้าวโพดเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบเพิ่มสูงขึ้นได้ [5] ในทางเดียวกันสัดส่วนคาร์บอนคงที่ที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตรง ทำให้น้ำหนักชีวมวลลดลง ซึ่งปกติทั่วไปปริมาณคาร์บอนคงที่สำหรับการผลิตถ่านอัดแท่งที่ยอมรับได้ต้องมีสัดส่วนสูงกว่า 60% ขึ้นไป และมีปริมาณสารระเหยไม่เกิน 25% [6] ปริมาณคาร์บอนคงที่ ความชื้น สารระเหย และเถ้า ที่ได้จากการทดสอบมีค่าเฉลี่ย 70.95% 3.41% 22.39% และ 3.25% ตามลำดับ ในด้านของค่าความร้อนถ่านชีวภาพซังข้าวโพดให้ค่าสูงสุด 28.55 MJ/kg ในขณะที่ซังข้าวโพดเริ่มต้น 14.60 MJ/kg



ภาพที่ 5 คุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพซังข้าวโพดจากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านชีวภาพซังข้าวโพด

ภาพที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ความหนาแน่น สี และรูปร่างของถ่านชีวภาพซังข้าวโพดก่อนและหลังกระบวนการไพโรไลซิส พบว่าชีวมวลซังข้าวโพดก่อนเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิสจะมีความหนาแน่นเฉลี่ย 132.6 kg/m³ ในขณะที่ถ่านชีวภาพซังข้าวโพดความหนาแน่นลดลง 86.50 kg/m³ ซึ่งการสูญเสียความชื้นและสารระเหยบางส่วน ทำให้มวลและรูปร่างของชีวมวลเปลี่ยนรูปร่างไป โดยมีแนวโน้มที่หดตัวลดลง [7] อย่างไรก็ตามการใช้ชีวมวลที่มีความหนาแน่นต่ำจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นได้ ในด้านของลักษณะสีของชีวมวลก่อนป้อนเข้า ซังข้าวโพดจะมีลักษณะเป็นสีขาวออกเหลือง และหลังผ่านกระบวนการไพโรไลซิสลักษณะจะเป็นสีดำสนิทและมีน้ำหนักเบาลง ดังภาพที่ 7 ด้านขนาดรูปร่างของซังข้าวโพดเริ่มต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-1.5 inch ยาว 2.5-4 inch และเมื่อผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะมีขนาดลดลงเฉลี่ยไม่เกิน 20% ขึ้นส่วนของถ่านชีวภาพบางชิ้นอาจเกิดการแตกหักระหว่างกระบวนการ โดยเมื่อหักดูเนื้อของถ่านชีวภาพซังข้าวโพดจะมีลักษณะมัน วาว บีบแตกหักได้ง่ายกว่าเดิม



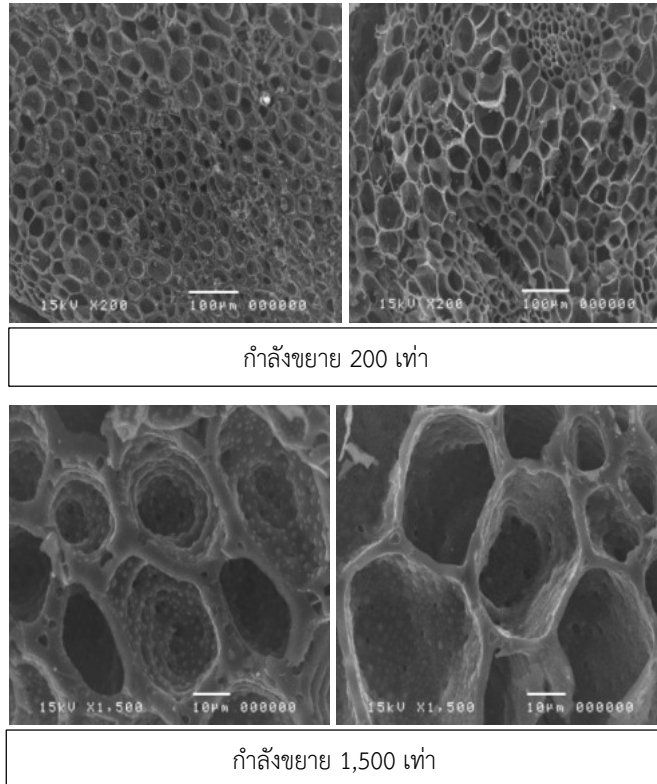
ภาพที่ 6 ความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด



ภาพที่ 7 ลักษณะรูปร่างและสีของถ่านชีวภาพซังข้าวโพด

การวิเคราะห์ความพรุนถ่านชีวภาพซังข้าวโพด

ความพรุนเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการนำเอาถ่านชีวภาพซังข้าวโพดไปใช้ประโยชน์ โดยถ่านชีวภาพที่มีความพรุนสูงจะกักเก็บจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้เพิ่มขึ้น [8] โดยภาพที่ 8 แสดงภาพถ่ายทางกายภาพของถ่านชีวภาพซังข้าวโพดเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) กำลังขยายภาพ 200 เท่า และ 1,500 เท่า พบว่าถ่านซังข้าวโพดมีการกระจายตัวของรูพรุนสม่ำเสมอทั่วทั้งก้อนถ่าน แสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพซังข้าวโพดมีความเป็นรูพรุนสูง รูพรุนของถ่านจากซังข้าวโพดมีลักษณะเป็นกึ่งกลมกึ่งรี โดยรูพรุนที่พบเป็นรูพรุนระดับ Mesoporous มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนอยู่ในช่วง 20-40 μm (Mesoporous : 2-50 nm) ผนังของรูพรุนมีความหนาประมาณ 2.73 μm และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 1,500 เท่า จะสังเกตเห็นว่าภายในรูพรุนระดับ Mesoporous ของถ่านซังข้าวโพดมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ นอกจากนี้ยังปรากฏรูพรุนระดับ Microporous เช่นเดียวกับรูพรุนที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวผนังของรูพรุนด้านนอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนอยู่ในช่วง 0.9-1.82 μm (Microporous : < 2 nm) ซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการหลุดออกของสารระเหยและคาร์บอนที่ไม่เสถียร ทำให้พื้นที่ผิวลดลง เกิดเป็นช่องว่างและมีความเป็นรูพรุนเพิ่มสูงขึ้น [9]



ภาพที่ 8 ภาพถ่ายความพรุนถ่านชีวภาพซิงข้าวโพดเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

สรุปผลการวิจัย

การผลิตถ่านชีวภาพจากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ให้อุณหภูมิไพโรไลซิสเฉลี่ย 477 °C ที่อัตราการป้อนชีวมวล 30 kg/ครั้ง โดยมีระยะเวลาการผลิตถ่านชีวภาพสูงสุด 155 min ผลผลิตที่ได้ ประกอบด้วย ถ่านชีวภาพ น้ำส้มควันไม้ และไพโรไลซิสแก๊ส มีค่าเฉลี่ย 28.50% 12.20% และ 59.30% ตามลำดับ ถ่านชีวภาพที่ได้ให้ค่าคาร์บอนสูงสุด 70.95% และสารระเหยต่ำสุด 22.39% โดยมีค่าความร้อนสูงสุด 28.55 MJ/kg ลักษณะถ่านชีวภาพมีสีดำสนิท มีความหนาแน่นเฉลี่ย 86.50 kg/m³ และมีความพรุนสูง สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร รวมถึงการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งสำหรับใช้ทดแทนแก๊สหุงต้มในครัวเรือนได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และปัญหาภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) (ม.จ.1-64-003) (ม.จ.1-64-003.2) ที่สนับสนุนพื้นที่และเครื่องมือวิจัย ขอขอบคุณโครงการเพิ่มคุณภาพชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตร โดยกระบวนการเพิ่มความหนาแน่นและการอบอย่างสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และโครงการพัฒนาเชิงวิศวกรรมเตาผลิตถ่านไบโอชาร์สำหรับอุตสาหกรรมในครัวเรือน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนแนวคิด บุคลากร และหลักการพัฒนางานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Homdoug, N., Sasujit, S., Uttharuan, J., Wongsiriamnuay, T., and Tippayawong, N. (2019). Influence of torrefaction temperature and time on the yields and properties of torrefied biomass. *Engineering and Applied Science Research*. 46(2), 170-175.
- [2] Wathakit, K., Sukjit, E., Kaewbuddee, C., Maithomklang, S., Klinkaew, N., Liplap, P., Arjharn, W., and Srisertpol, J. (2021). Characterization and Impact of Waste Plastic Oil in a Variable Compression Ratio Diesel Engine. *Energies*. 14(2230), 1-18.
- [3] ธเนศ ชัยชนะ. (2559). **เตาเผาถ่าน 200 ลิตร**. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564, จาก <https://engineer.mju.ac.th>.
- [4] สมมาส แก้วล้วน, ภรณ์ ศรีธรรมรัตน์, สุรัชย์ ณรัฐ จันทร์ศรี, พิชัย อธิภูมมงคล, และสินศุภา จุ้ยจุลเจิม. (2564). การผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่เลี้ยงด้วยเตาเผาถ่านชุมชนขนาด 200 ลิตร ที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์. *วารสารวิจัยราชภัฏเชียงใหม่*. 22(2), 229-245.
- [5] Homdoug, N., Uttaruan, J., Wongsiriamnuay, T., Sasujit, K., and Tippayawong, N. (2020). Characterization of torrefied biomass pellets from corncobs and rice husks for solid fuel production. *The CIGR e-journal*. 22(3), 118-128.
- [6] กนกวรรณ ศุภนันท์, และนิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล. (2562). การใช้กากมันสำปะหลังเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรเป็นตัวประสานในการอัดแท่งถ่านจากเปลือกตาลโตนด. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*. 6(5), 48-65.
- [7] นิกราน หอมดวง, พันธวัฒน์ ไชยวรรณ, ภูนิชต์ สายแก้ว, ประภัสสร รัตนไพบูลย์, กิตติกร สาสุจิตต์, เสริมสุข บัวเจริญ, นงเยาว์ เต๊ะใหม่, ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล และชูรัตน์ ธารารักษ์. (2564). การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสำหรับการใช้งานผลิตความร้อนและถ่านชีวภาพ. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*. 4(1), 47-53.
- [8] ประภัสสร รัตนไพบูลย์, นิกราน หอมดวง, ณัฐวุฒิ ดุษฎี, ภคมน ปินตานา, และชูรัตน์ ธารารักษ์. (2563). การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากแกรบและซังข้าวโพดเผือกปรับปรุงดิน. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*. 3(3), 74-79.
- [9] Yan, C., Yu J., Zhao, Y., and Zheng, M. (Eds.). (2017). Biomass burning sources in China. In *Air Pollution in Eastern Asia: An Integrated Perspective* (pp. 135–166). Retrieved September 10, 2021 from https://www.researchgate.net/publication/319190114_Biomass_Burning_Sources_in_China