



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษถ่านที่ใช้แล้วจากกระบวนการย่างไก่
Fuel Briquette Properties of Used Charcoal Residue from Chicken Grilling Process

วราพร พึ่งพรหม (Waraporn Pungporm)¹ สิริรัตน์ สุวณิษฐ์เจริญ (Sirirat Suwanidcharoen)²

อภिरดี ศรีโสภาส (Apiradee Sriopas)³

บทคัดย่อ

การนำเศษถ่านที่ใช้แล้วมาทำการอัดแท่งเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เป็นการช่วยลดปัญหาด้านการจัดการของเสียเหลือทิ้ง ช่วยลดการตัดไม้และมลภาวะจากการผลิตถ่านไม้ งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านที่ใช้แล้วจากกระบวนการย่างไก่ โดยนำเศษถ่านไม้โกงกางที่ใช้ในกระบวนการย่างไก่ มาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน ร้อยละ 4.8, 9.1 และ 16.7 ก่อนที่จะนำไปอัดเป็นถ่านอัดแท่ง จากนั้นจึงนำไปทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง และการเผาไหม้ ผลการวิจัย พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำเศษถ่านเหลือทิ้งจากกระบวนการย่างไก่มาทำถ่านอัดแท่ง คือ ร้อยละ 4.8 เพราะเป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงที่สุด การทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง พบว่าค่าความร้อนสูงสุด เท่ากับ 6,403 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม สารระเหย เท่ากับ ร้อยละ 25.62 ถ่านคงตัว เท่ากับ ร้อยละ 60.18 และเถ้า เท่ากับร้อยละ 3.95 ผลการทดสอบการจุดติดไฟ พบว่า มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับถ่านไม้โกงกางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์พบว่า มีระยะคืนทุน ประมาณ 6.57 เดือน ดังนั้น จึงสรุปว่า เศษถ่านเหลือทิ้งจากกระบวนการย่างไก่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในรูปของถ่านอัดแท่งได้

คำสำคัญ เศษถ่านไม้โกงกาง เศษถ่านใช้แล้ว ถ่านอัดแท่ง

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช e-mail: warapornpungporm@hotmail.com

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช e-mail: sirirat.suw@stou.ac.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช e-mail: apiradee.sri@stou.ac.th



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14

The 14th STOU National Research Conference

Abstract

Recycling of used charcoal from the chicken grilling process into charcoal briquettes would help to reduce waste. It also helps to reduce environmental problems, deforestation, and pollution from charcoal waste. Therefore, the purpose of this study is to explore the fuel properties of charcoal briquettes from used charcoal residue in the chicken grilling process. The production of charcoal briquettes was conducted by mixing used charcoal residue with tapioca starch in the ratio of 4.8, 9.1 and 16.7 percent. The mixed charcoal was compressed into charcoal briquettes. After that, the charcoal briquettes were tested for fuel and combustion properties. The results show that the optimal ratio for producing charcoal briquettes from used charcoal scraps from the chicken grilling process is 4.8% because it yields the best heating value. The fuel properties tested at the ratios of 4.8% are the heating values of 6,403 kcal/kg, the volatile matter of 25.62%, fixed carbon contents of 60.18%, and the ash contents of 3.95%. The combustion test of compressed charcoal shows similar properties to unused mangrove charcoal. The economic assessment found that payback period is approximately 6.57 months. Therefore, it can be concluded that the used charcoal residue from the chicken grilling process can be recycled as charcoal briquettes.

Keywords: Mangrove charcoal, Charcoal scraps, Charcoal briquettes



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14 The 14th STOU National Research Conference

บทนำ

กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท โดยเฉพาะกระบวนการที่ต้องมีการปิ้งย่างจำเป็นต้องมีการใช้ถ่านไม้จำนวนมาก เพื่อต้องการให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์หอมน่ารับประทาน ถ่านไม้โกงกางเป็นถ่านที่หาซื้อได้ง่ายและนิยมนำมาใช้กันมาก เพราะสามารถเร่งและควบคุมไฟได้ดีกว่าถ่านชนิดอื่น แต่เนื่องจากต้นโกงกางเป็นองค์ประกอบหนึ่งในระบบนิเวศของป่าชายเลนที่มีความสำคัญต่อการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งและทรัพยากรธรรมชาติในบริเวณนั้น และไม้โกงกางยังมีความสำคัญกับระบบนิเวศเป็นอย่างมาก รวมทั้ง ยังเป็นไม้ที่มีการนำมาใช้สอยในการทำถ่านไม้โกงกางอย่างแพร่หลาย (จักรกฤษณ์ จันทรแฉล้ม, 2558) และจากงานวิจัยการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า ร้อยละ 90 ของการทำถ่านไม้ในประเทศไทย ส่วนมากเป็นการนำมาใช้ในการทำฟืนและเผาถ่าน (วัฒนา เสถียรสวัสดิ์ , 2528) ดังนั้น หากมีการตัดไม้โกงกางมาผลิตถ่านจำนวนมาก ก็จะมีผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์และเกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศป่าชายเลนได้ ประกอบกับการเกิดเศษถ่านใช้แล้วสะสมจำนวนมากที่ต้องนำไปกำจัดในรูปแบบต่างๆ อาทิ การทุบหมักทำปุ๋ย เเผา ฝังกลบ และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมาได้

ถ่านที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้ในกระบวนการผลิต เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับหลาย ๆ อุตสาหกรรม จึงได้มีการหาแนวทางแก้ปัญหาโดยการนำเศษถ่านดังกล่าวมาอัดเป็นแท่ง ซึ่งนอกจากจะป้องกันผลกระทบที่จะเกิดจากการกำจัดของเสียดังกล่าวแล้ว ยังสามารถนำถ่านอัดแท่งกลับมาใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้อีกด้วย เนื่องจากถ่านอัดแท่งจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือ สามารถให้ความร้อนสูงและสม่ำเสมอ เกิดควันที่น้อยกว่าการใช้ถ่านไม้ ไม่แตกประทุหรือเกิดประกายไฟ เกิดเขม่าที่น้อยกว่าถ่านไม้ ราคาถูก ขนาดก้อนของถ่านมีขนาดเท่ากันง่ายต่อการใช้งาน ดังตัวอย่างการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านที่ผ่านการเผาไหม้ในกระบวนการต่าง ๆ อาทิ การใช้ถ่านซึ่งข้าวโพดและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้ง อัตราส่วน 6:4 สามารถให้ความร้อน ได้ 9,877 กิโลแคลอรี/กก. (วีระ พันอินทร์ , 2561) เศษถ่านของกระบวนการเผาไหม้มอญ อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 2% ได้ค่าความร้อน 6,726 กิโลแคลอรี/กก. (ปฐมศก วิไลพล , 2562) การใช้เศษถ่านที่เหลือจากกระบวนการผลิตกล้วยทอดกรอบ กระบวนการทำถ่านอัดแท่งได้ความร้อน 5,493.46 กิโลแคลอรี/กก. (ณัฐพล วิชาญ, 2562) การใช้ถ่านของโรงไฟฟ้าชีวมวล ผสมกับแป้งมันสำปะหลัง 1% โดยน้ำหนัก ได้ความร้อนที่ 2,222 กิโลแคลอรี/กก. (ธนียา เกาศล , 2562) การใช้เศษถ่านไม้เม็กและเศษถ่านไม้เบญจพรรณเหลือทิ้งจากกระบวนการตีพริ้ว อัตราส่วน วัสดุดิบ: แป้งมันสำปะหลัง : ปูนขาว เป็น 60:2:1 ได้ค่าความร้อนเป็น 5,556.51 กิโลแคลอรี/กก. (หาญณรงค์ บำรุงศิริ , 2553)

ในการศึกษาโรงงานแปรรูปไก่แห้งหนึ่ง พบว่า มีการใช้ถ่านไม้โกงกางในกระบวนการย่างไก่จำนวน 100 กิโลกรัม/วัน และจะมีเปลี่ยนถ่าน ทุก ๆ กะ ทำให้เกิดเศษถ่านไม้โกงกางที่เหลือจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากที่รอดำเนินการนำส่งกำจัด

ดังนั้น จึงได้ศึกษาการนำเศษถ่านเหลือทิ้งจากกระบวนการย่างไก่มาผลิตถ่านอัดแท่ง เพื่อลดปริมาณเศษถ่านเหลือทิ้งที่มีการสะสมรอการกำจัดเป็นจำนวนมาก ลดการตัดต้นไม้โกงกางมาทำถ่าน ลดปริมาณมลพิษจากการเผาถ่านและกำจัดเศษถ่าน และยังสามารถลดต้นทุนการผลิตจากการนำเศษถ่านไม้โกงกางที่ต้องนำไปกำจัดกลับมาอัดแท่งและใช้ใหม่ได้



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านเหลือทิ้งจากการย่างไก่
2. เพื่อทดสอบการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านเหลือทิ้งจากการย่างไก่
3. เพื่อประเมินระยะเวลาต้นทุนในการนำเศษถ่านเหลือทิ้งจากการย่างไก่มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (quasi experimental research) วิธีการศึกษาจะนำเศษถ่านไม้โกงกางที่ใช้แล้วจากกระบวนการย่างไก่มาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง แล้วนำมาทำเป็นถ่านอัดแท่ง โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการทำถ่านอัดแท่ง และวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง วิธีการทดสอบการติดไฟและลักษณะควัน และวิธีการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

1. ขั้นตอนการทำถ่านอัดแท่ง

1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำถ่านไม้โกงกางที่ผ่านการใช้แล้วจากกระบวนการย่างไก่ จำนวน 3 กะ (ผสมกันให้ได้น้ำหนักประมาณ 100 กิโลกรัม) มาทำการคัดแยกขยะ (เศษไม้เสียบไก่) และนำไปตากแดด (เนื่องจากการย่างไก่อาจมีน้ำมันไก่หยดลงไปบนถ่านรวมทั้งหลังย่างทุกครั้งจะมีการดับไฟด้วยการราดน้ำ) หลังจากนั้นจึงนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4 มิลลิเมตร เพื่อเอาขี้เถ้าออก (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การนำเศษถ่านที่ใช้แล้ว มาทำการร่อนด้วยตะแกรง

1.2 การบดเศษถ่าน

ขั้นตอนนี้เป็นการนำเศษถ่านที่ผ่านตากแดดและร่อนเอาขี้เถ้าออกแล้ว มาทำการบดในเครื่องบดถ่าน (ภาพที่ 2) ใช้เวลาประมาณ 2 นาที และนำถ่านที่ผ่านการบดแล้วไปชั่งน้ำหนักเป็นถุง ๆ ละ 10 กิโลกรัม เพื่อสะดวกต่อการผสม



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 2 เครื่องบดถ่าน

1.3 การผสมตัวประสาน

ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานเพื่อให้เศษถ่านสามารถจับตัวเป็นแท่งได้ เศษถ่านที่ผ่านการบดแล้วจะถูกนำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมไว้ตามอัตราส่วนที่กำหนด และมีการผสมน้ำเพื่อให้เกิดการจับตัวระหว่างถ่านและแป้งมันสำปะหลัง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมในการทำถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน (% โดยน้ำหนัก)	เศษถ่าน (กิโลกรัม)	แป้งมันสำปะหลัง (กิโลกรัม)
4.8%	10	0.5
9.1%	10	1
16.7%	10	2

1.4 การอัดเศษถ่าน

เป็นการอัดถ่านโดยใช้เครื่องอัดถ่านที่ใช้ความร้อนในการทำให้เกิดรูป โดยการนำถ่านที่ผสมกับแป้งมันสำปะหลังเรียบร้อยแล้ว เทลงไปในเครื่องอัดถ่านกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 5 Hp ใช้เวลาในการอัดเป็นก้อน 3840 ก้อน/ชั่วโมง (ภาพที่ 3) เมื่อเข้าไปในกระบอกละเอียดและความร้อน ทำให้เกิดการจับเป็นก้อน และตั้งเซนเซอร์ เพื่อตัดถ่านในขนาดที่ต้องการ



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 3 เครื่องอัดถ่าน

1.5 การตากให้แห้ง

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการนำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปตากแดดให้แห้ง (ภาพที่ 4) ระยะเวลาประมาณ 3-5 วัน



ภาพที่ 4 การนำถ่านอัดแท่งไปตากแดดให้แห้ง

2. วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งดำเนินการโดยเก็บตัวอย่างอัตราส่วนละ 3 ตัวอย่าง และส่งไปวิเคราะห์ที่ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ ประกอบด้วย ค่าความชื้น (moisture) ปริมาณเถ้า (ash) ปริมาณสารระเหย (volatile matter) ตามมาตรฐาน ASTM D 7582 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ตามมาตรฐาน ASTM D3176 และค่าความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D 5865 ดังแสดงในตารางที่ 2



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ค่าความชื้น (%)	ASTM D 7582
เถ้า (%)	
สารระเหย (%)	
คาร์บอนคงตัว (%)	ASTM D 3176
ค่าความร้อนสูง (กิโลแคลอรี/กก.)	ASTM D 5865

3. วิธีการทดสอบการติดไฟและลักษณะควัน

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง โดยนำถ่านอัดแท่งที่ได้มาทำการจุดไฟในเตาที่เตรียมไว้ และทำการทดสอบระยะเวลาจุดติดไฟ ระยะเวลาการเผาไหม้ อุณหภูมิความร้อนของถ่านอัดแท่ง และลักษณะการเกิดควัน (อานันต์ วาชัยศรี และคณะ, 2565) ดังนี้

3.1 จับเวลาตั้งแต่เริ่มจุดไฟจนถ่านเริ่มติดไฟ เพื่อดูระยะเวลาการจุดติดไฟของถ่าน

3.2 จับเวลาตั้งแต่ถ่านเริ่มติดไฟจนกลายเป็นขี้เถ้า โดยสังเกตการติดไฟตั้งแต่เริ่มติดไฟก่อนแรกจนกลายเป็นเถ้าครบทุกก้อน

3.3 วัดอุณหภูมิความร้อนด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบพกพา เพื่อวัดค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านขณะเผาไหม้ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การวัดค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านขณะเผาไหม้

3.4 สังเกตลักษณะและสีของควันที่เกิดขึ้น โดยการนำเตาที่ทดสอบไปวางตั้งในพื้นที่ที่สามารถมองเห็นลักษณะและสีของควันได้ชัดเจน



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ผลการวิจัย

1. ลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่ง

พบว่า มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดความยาวโดยประมาณ 5 เซนติเมตร มีรูปบริเวณตรงกลาง น้ำหนักต่อก้อนโดยประมาณ 70.6 กรัม



ภาพที่ 6 ลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านใช้แล้วจากกระบวนการย่างไก่

2. คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง

ผลการทดสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง (อัตราส่วนละ 3 ซ้ำ) เปรียบเทียบกับผลการทดสอบคุณสมบัติถ่านไม้โกงกาง และคำแนะนำตามเกณฑ์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) แสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วนผสม	ผลการทดสอบ ($\bar{x} \pm S.D$)				
	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	เถ้า (%)	ค่าความร้อนสูง (กิโลแคลอรี/กก.)
คำแนะนำ*	≤ 8	–	≥ 15	≤ 20	$\geq 3,000$
ถ่านไม้โกงกาง	6.59	44.82	48.15	0.44	6,140
4.8%	10.24 ± 1.57	25.62 ± 0.38	60.18 ± 1.11	3.95 ± 0.10	6403.33 ± 100.17
9.1%	12.27 ± 2.25	28.10 ± 0.75	55.50 ± 2.05	3.68 ± 0.23	6140.00 ± 260.00
16.7%	12.63 ± 2.02	28.81 ± 2.73	55.19 ± 0.77	3.36 ± 0.17	5963.33 ± 75.06

หมายเหตุ * กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555)

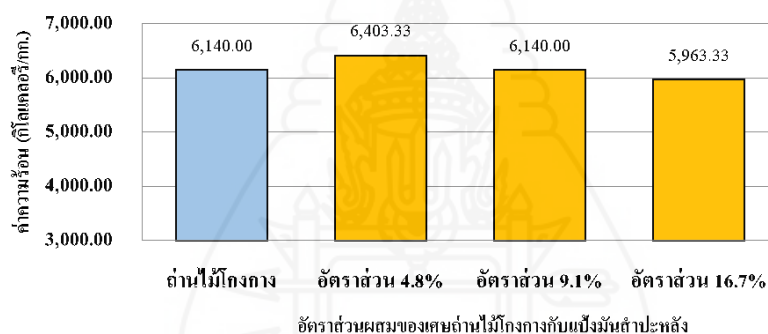
จากผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง พบว่า ถ่านอัดแท่งมีค่าความชื้น 10.24 – 12.63 ซึ่งสูงกว่าคำแนะนำ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) เล็กน้อย (ไม่เกิน 8% โดยน้ำหนัก) โดยช่วงเวลาในการดำเนินการผลิตถ่านอัดแท่งเป็น



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14 The 14th STOU National Research Conference

ช่วงเวลา เดือนกุมภาพันธ์ 2566 ไม่อยู่ในช่วงฤดูฝน ดังนั้น อาจเกิดจากน้ำมันไก่อที่อาจหยดบนถ่านและเกิดจุดสะสมความร้อน ส่วนคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ได้แก่ คาร์บอนคงตัว ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนสูงจะมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้เป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนโดยภาพรวมแล้วจะพบว่า คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนผสม 4.8% จะมีปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนสูงกว่า ทั้ง 2 อัตราส่วน คือ 9.1% และ 16.7% ซึ่งมีค่าความร้อน สารระเหย และปริมาณถ่านคงตัว ใกล้เคียงกัน

ผลการทดสอบค่าความร้อนสูง ซึ่งแสดงถึงปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นเมื่อถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์นั้น จะพบว่า ถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนผสม 4.8% จะมีค่าความร้อนสูงสุด (6403.33 ± 100.17 กิโลแคลอรี/กก.) ถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนผสม 9.1% จะมีค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับถ่านไม้โกงกางที่ยังไม่ผ่านการนำไปใช้ในการย่างไก่ (6140.00 ± 260.00 กิโลแคลอรี/กก.) และถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนผสม 16.7 % จะมีค่าความร้อนสูงต่ำสุด (5963.33 ± 75.06 กิโลแคลอรี/กก.) ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 7 ค่าความร้อนของถ่านไม้โกงกาง และถ่านอัดแท่ง

จากภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่า ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากเศษถ่านใช้แล้วที่เหลือทิ้งจากกระบวนการย่างไก่ จะแปรผกผันกับอัตราส่วนผสมของตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มอัตราส่วนของตัวประสาน จะทำให้มีสัดส่วนของสารระเหยและความชื้นเพิ่มขึ้น (ดวงกมล บุญบำรุง, 2563) ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างเผาไหม้ ทำให้ค่าความร้อนต่ำลงได้ (กัณมณี แสงสุข, 2554 และ Obi, O.F., 2022) ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการวิจัยครั้งนี้ คือ อัตราส่วนผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 0.5% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าความร้อนสูงสุด คือ 6403.33 กิโลแคลอรี/กก. และมีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านไม้โกงกาง (6140.00 กิโลแคลอรี/กก.) จึงมีคุณสมบัติที่สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการย่างไก่ได้

2. ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาติดไฟและลักษณะควัน

จากการทดสอบระยะเวลาติดไฟ และการทดสอบลักษณะควันที่เกิดขึ้น โดยน้ำหนักที่นำมาทดสอบ ที่น้ำหนัก 200 กรัม โดยปริมาณเท่ากันทุกอัตราส่วน สรุปได้ดังตารางที่ 4



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบระยะเวลาติดไฟและลักษณะควัน

อัตราส่วน	ผลการทดสอบ ($\bar{x} \pm S.D$)			ลักษณะควัน
	ระยะเวลาจุดติดไฟ (นาทิจ)	อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลาการเผาไหม้ (ชั่วโมง)	
ถ่านไม้โกงกาง	10.07 (± 3.53)	548.63 (± 1.79)	2.10 (± 0.17)	ไม่มีควัน
4.8%	11.39 (± 5.42)	544.60 (± 10.89)	2.60 (± 1.09)	ไม่มีควัน
9.1%	12.76 (± 1.37)	541.13 (± 18.65)	1.71 (± 0.74)	ไม่มีควัน
16.7%	14.09 (± 2.70)	540.53 (± 17.39)	2.02 (± 0.48)	ไม่มีควัน

จากตารางที่ 4 สรุปได้ว่า ถ่านไม้โกงกาง มีระยะเวลาจุดติดไฟที่ 10.07 ± 3.53 นาที ระยะเวลาการเผาไหม้อยู่ที่ 2.10 ± 0.17 ชั่วโมง และถ่านอัดแท่ง อัตราส่วน 4.8% 9.1% 16.7% มีระยะเวลาจุดติดไฟอยู่ที่ 11.39 ± 5.42 12.76 ± 1.37 14.09 ± 2.70 นาที ตามลำดับ ระยะเวลาการเผาไหม้ อยู่ที่ 2.60 ± 1.09 1.71 ± 0.74 2.02 ± 0.48 ชั่วโมง โดยพบว่า มีระยะเวลาใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาอุณหภูมิความร้อนขณะเผาไหม้ พบว่า ถ่านไม้โกงกางและถ่านอัดแท่งทั้ง 3 อัตราส่วน มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 540 องศาเซลเซียส และพบว่า ถ่านไม้โกงกางและถ่านอัดแท่ง ไม่มีควัน ขณะเผาไหม้

3. การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการประเมินความคุ้มค่าในการใช้ถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านที่เหลือจากกระบวนการย่างไก่เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการซื้อถ่านไม้โกงกาง และลดค่าใช้จ่ายกำจัดเศษถ่านที่ผ่านการใช้งานแล้ว ไม่ได้ประเมินเพื่อใช้จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ดังนี้

3.1 ค่าใช้จ่ายในการผลิตถ่านอัดแท่ง ประกอบด้วย ค่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง และค่าใช้จ่ายในการทำถ่านอัดแท่ง ดังนี้

3.1.1 ค่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง

เนื่องจากเศษถ่านที่นำมาทำถ่านอัดแท่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้ ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย จึงคิดเฉพาะค่าใช้จ่ายในการซื้อแ่งมันสำปะหลัง ดังนี้

ถ่าน 100 กิโลกรัม จะใช้แ่งมันสำปะหลัง = 5 กิโลกรัม

ถ้าผลิตถ่านอัดแท่ง ปีละ 5,200 กิโลกรัม จะใช้แ่งมันสำปะหลัง = $(5,200 \times 5)/100$
= 260 กิโลกรัม

ราคาแ่งมันสำปะหลัง ถุงละ 375 บาท (30 กิโลกรัม) = 12.5 บาท / กิโลกรัม

คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการซื้อแ่งมันสำปะหลัง = $260 \times 12.5 = 3,250$ บาท ต่อปี

3.1.2 ค่าใช้จ่ายในการทำถ่านอัดแท่ง ในการศึกษาครั้งนี้ จะคิดเฉพาะค่าไฟฟ้าและค่าบำรุงรักษา ดังนี้

1) ถ่านอัดแท่ง 100 กิโลกรัม ใช้เวลาผลิต รวม 16 ชั่วโมง

ราคาค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต เท่ากับ 5.64 บาท ต่อชั่วโมง



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

$$\begin{aligned}\text{คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง} &= (5.64 \times 16)/100 = 0.90 \text{ บาท/กิโลกรัม} \\ &= 0.90 \times 5,200 = 4,680 \text{ บาท/ปี}\end{aligned}$$

2) ค่าบำรุงรักษา อาทิ การบำรุงรักษาใบตัดเครื่องบดถ่าน เกลียวเดือยหมูของเครื่องอัดถ่าน และน้ำมันสำหรับใส่ในมอเตอร์ต่างๆ เท่ากับ 3,000 บาท/เดือน คิดเป็น $3,000 \times 12 = 36,000$ บาท/ปี

3.1.3 ค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องบดถ่าน เท่ากับ 117,500 บาท

3.2 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการใช้ถ่านอัดแท่ง

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการใช้ถ่านอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงทดแทนถ่านไม้โกงกาง และค่าขนส่งในการนำเศษถ่านไปกำจัด

3.2.1 ค่าใช้จ่ายในการใช้ถ่านอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงทดแทนถ่านไม้โกงกาง จะคำนวณโดยเทียบราคาถ่านไม้โกงกางกับค่าความร้อนสูงสุดที่ได้ ดังนี้

ถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วน 5% มีค่าความร้อนถึง 6,403.33 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

ค่าความร้อนสูงสุดของไม้โกงกาง = 6,140 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

ราคาถ่านไม้โกงกาง = 40 บาท/กิโลกรัม

ถ่านอัดแท่งจึงสามารถทดแทนค่าใช้จ่ายเทียบเท่า = $(40 \times 6,403.33)/6,140$
= 41.72 บาท/กิโลกรัม

ดังนั้น ถ้าใช้ถ่านอัดแท่งทดแทนถ่านไม้โกงกางปีละ 5,200 กิโลกรัม

จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ = $41.72 \times 5,200$ กิโลกรัม
= 216,944 บาท / ปี

3.2.2 การประหยัดค่าขนส่งในการนำเศษถ่านไปกำจัดคิดจากปริมาณเศษถ่านที่ถูกนำไปถ่านอัดแท่ง ดังนี้

ปริมาณเศษถ่านที่ถูกนำไปทำถ่านอัดแท่ง = 5,200 กิโลกรัม/ปี

ราคาค่าขนส่งเศษถ่านไปกำจัด = 8 บาท/กิโลกรัม

ดังนั้น สามารถประหยัดค่าขนส่งเศษถ่านได้ = $5,200 \times 8$ กิโลกรัม/ปี

รวมค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ทั้งหมด = $216,944 + (5,200 \times 8) = 258,544$ บาท /ปี

ดังนั้น คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน = $117,500 / (258,544 - 3,250 - 4,680 - 36,000)$
= 0.547 ปี หรือประมาณ 6.57 เดือน

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเศษถ่านเหลือทิ้งจากการย่างไก่กับแป้งมันสำปะหลังในการผลิตถ่านอัดแท่ง คือ อัตราส่วนผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 4.8% ซึ่งมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงเป็นไปตามเกณฑ์ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง 238/2547 (กานต์ วิรุณพันธ์, 2560) และผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนผสมดังกล่าว พบว่า มีสารระเหย = 25.62% ถ่านคงตัว = 60.18 % ถ้า = 3.95 % และค่าความร้อนสูงเท่ากับ 6403.33 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14 The 14th STOU National Research Conference

นอกจากนั้น ยังพบว่า ถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากเศษถ่านที่เหลือทิ้งจากกระบวนการย่างไก่ในการวิจัยนี้ จะมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านที่เหลือทิ้งจากกระบวนการเผาไหม้อื่น ๆ ดังนี้คือ ต่ำกว่าถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านของกระบวนการเผาอิฐมอญ ซึ่งมีค่าความร้อน = 6,726 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (ปฐมศก วิไลพล, 2562) และสูงกว่าถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากเศษถ่านที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกล้วยทอดกรอบ ซึ่งมีค่าความร้อน = 5,493.46 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (ณัฐพล วิชาญ, 2562)

ในส่วนของการทดสอบระยะเวลาติดไฟและลักษณะควันที่เกิดขึ้น พบว่า ทั้ง 3 อัตราส่วนมีระยะเวลาการติดไฟที่ใกล้เคียงกัน ไม่มีควันเกิดขึ้นทั้ง 3 อัตราส่วนและอุณหภูมิความร้อนของอัตราส่วน 4.8% สามารถให้ค่าความร้อนสูงถึง 544.60 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านไม้เบญจพรรณที่มีอุณหภูมิความร้อนของถ่านสูงสุดอยู่ที่ 556.5 องศาเซลเซียส (อานันต์ วาชัยสีและคณะ, 2565)

ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าเศษถ่านเหลือทิ้งที่ผ่านการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตนั้น สามารถนำมาผ่านกระบวนการอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงสำหรับนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปัญหาการจัดการของเสียเหลือทิ้งจากการเผาไหม้แล้ว ยังช่วยลดการตัดไม้และมลภาวะจากการผลิตถ่านได้ด้วย สามารถลดได้ถึงร้อยละ 90 ของการตัดไม้เพื่อทำฟืนและถ่าน และจากคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงยังพบว่า ถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากเศษถ่านไม้โก่งก้านนั้น สามารถนำมาใช้ทดแทนหรือเสริมจากการใช้ถ่านไม้โก่งก้านได้ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตในกระบวนการย่างไก่ได้

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้ จะนำถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้ ไปตากให้แห้งเองโดยธรรมชาติ ซึ่งจะมีข้อจำกัดเรื่องสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยได้ จึงทำให้ถ่านอัดแท่งอาจมีความชื้นมาก (10.24%) ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์หรือค่ามาตรฐานเล็กน้อย (8%) ดังนั้นจึงอาจจะต้องเพิ่มระยะเวลาการตากแดดให้มากขึ้น หรือเพิ่มมาตรการที่จะช่วยให้น้ำระเหยจากถ่านได้มากหรือเร็วขึ้น เพื่อให้ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งด้วย

นอกจากนี้ในกระบวนการย่างไก่มีการใช้ถ่านเพื่อวัตถุประสงค์สำคัญ คือ เพื่อให้เนื้อไก่มีกลิ่นที่น่านำรับประทาน ดังนั้น อาจจะมีการศึกษาการนำส่วนผสมที่ทำให้เกิดกลิ่นหอม เช่น ใบเตย ตะไคร้ มาผสมเพิ่มเติม เพื่อทำให้ไก่อ่ายที่ได้มีกลิ่นน่านำรับประทานยิ่งขึ้น และช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). *คู่มือและแนวทางเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง และบล็อกประสาน*. กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- กัณณณิ แสงสุข. (2554). *การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กานต์ วิรุณพันธ์, ธนารักษ์ สายเปลี่ยน และสนธยา ทองอรุณศรี. (2560). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ ในการผลิตข้าวหลาม. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*, 2(1), 1 – 15.
- จรรยา จันทรทอง. (2558). *การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกมะม่วงสุกไปใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง*



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

- [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- จักรกฤษณ์ จันทรแฉล้ม. (2558). กระบวนการฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน กรณีศึกษาชุมชนต้นแบบบ้านแปร์ดในตำบลห้วยน้ำขาว อำเภอเมือง จังหวัดตราด [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ณัฐพล วิชาญ, กันยาพร ไชยวงศ์, พรพิมล พรหมรักษา และอภิรักษ์ กาน้อย. (2562). การผลิตถ่านอัดแท่งด้วยเศษถ่านที่เหลือจากกระบวนการผลิตกล้วยทอดกรอบ. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม*, 3(2), 11-22.
- ดวงกมล บุญบำรุง. (2563). ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของถ่านเปลือกไม้โกกงางอัดแท่งในกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ธนิยา เกาศล, วัฒนา ศรีเกตุ และวิชัยรัตน์ แก้วเจือ. (2562). ถ่านอัดแท่งจากเถาหนังของโรงไฟฟ้าชีวมวลจากกากไม้ยางพารา. ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24* วันที่ 10 – 12 กรกฎาคม 2562 จังหวัดอุดรธานี (หน้า 2770 – 2776).
- ปฐมศก วิไลพล, ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ, นพรัตน์ สีหะวงษ์, จิราณุวัฒน์ เม่นเกิด, ปรากรณ์ ประกอบกลีกรณ์ และปิยะวัต คำบุญ. (2562). การวิเคราะห์อัตราส่วนผสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านของกระบวนการเผาอิฐมอญ. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*, 4(1), 43 – 50.
- วัฒนา เสถียรสวัสดิ์, วิทวัส บัวจันทร์และเรณู เอี่ยมธนากรณ. (2528). แหล่งของวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งในประเทศไทย. ใน *การประชุมวิชาการ สาขาพืช ครั้งที่ 23* วันที่ 4 – 7 กุมภาพันธ์ 2528 จังหวัดกรุงเทพมหานคร (หน้า 152 – 162).
- วีระ พันอินทร์. (2561). การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมถ่านซังข้าวโพดกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 23(1), 146 – 163.
- หาญณรงค์ บำรุงศิริ. (2553). สมบัติทางกลและทางกายภาพของถ่านไม้อัดก้อนที่ผลิตจากเศษถ่านไม้ [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- อานันต์ วาชัยศรี และคณะ. (2565). กระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านเหลือใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม*, 32(2), 87 – 94.
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T., and Marchand, C. (2008). Organic Carbon Dynamics in Mangrove Ecosystems: A Review. *Aquatic Botany*, 89(2008), 201 – 219.
- Obi, O.F., Pecenka, R. and Clifford, M. (2022). A Review of Biomass Briquette Binders and Quality Parameters. *Energies* 2022, 15, 2426, 1 – 22.