

การศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร

STUDY ON THE PROPERTIES OF CHARCOAL BRIQUETTES FROM HERBAL MEDICINE WASTE

(Received: February 7,2025 ; Revised: February 12,2025 ; Accepted: February 13,2025)

ปฐัตถ์ วัฒนพรชัย¹, นิสา พักตร์วิไล², สุนทรี จินธรรม² นงลักษณ์ เล็กรุ่งเรืองกิจ³Purachat Watthanapornchai¹, Nisa pakwilai² Soontaree Cheentam² Nonglak Lekrungronggjid³

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร และเพื่อศึกษาคุณสมบัติถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง ใช้พื้นที่ศึกษาที่โรงผลิตยาสมุนไพร ตำบลคลองสี่ อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี และศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน วิจัยดำเนินการวิจัย โดยทำการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสมของผงถ่านไม้ : สมุนไพร : แป้ง : น้ำ แล้วนำไปอัดเป็นแท่งถ่าน โดยใช้เครื่องอัดแบบสกรู ขนาดกำลัง 5 แรงม้า แล้วนำถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรที่สามารถขึ้นรูปได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว น้ำหนัก ความชื้นของถ่านอัดแท่ง ความหนาแน่นของก้อนถ่าน (Density) และความหนาแน่นรวม (Bulk Density) และหาคุณสมบัติค่าความร้อนเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งสมุนไพรทั้งสามสูตร

ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสมของผงถ่านไม้ : สมุนไพร : แป้ง : น้ำ ของถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพรจำนวน 3 สูตร ถ่านอัดแท่งสามารถขึ้นรูปได้ดีทั้ง 3 สูตร ถ่านมีการจับตัวเกาะแน่นและมีผิวเรียบเช่นเดียวกับการขึ้นรูปผงถ่านไม้ ถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร ทั้ง 3 สูตร มีคุณสมบัติที่สามารถนำไปหุงต้มอาหารได้ ซึ่งเป็นถ่านที่มีการนำกากยาสมุนไพรที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตยามาใช้ประโยชน์ในการเป็นพลังงานความร้อน และเป็นการจัดการขยะที่ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: การศึกษาคุณสมบัติ ; ถ่านอัดแท่ง ; กากยาสมุนไพร ; การจัดการสิ่งแวดล้อม

Abstracts

This research aimed to study the appropriate ratio of charcoal production from herbal medicine waste and to study the properties of charcoal from herbal medicine waste. This is an experimental research. The study area is a herbal medicine factory, Khlong Si Subdistrict, Khlong Luang District, Pathum Thani Province and the Energy and Environmental Engineering Laboratory Center, Kasetsart University, Kamphaeng Saen. The research methodology is to conduct an experiment to find the mixing ratio of charcoal powder: herbs: flour: water and then compress it into charcoal briquettes using a 5 horsepower screw press. After the process, the charcoal briquettes that can form charcoal mixed with herbs are tested for efficiency by finding physical properties, such as briquette size, diameter, length, weight, moisture content of charcoal before baking, density properties, and bulk density.

The results of the research found that: The experiment to find the ratio of charcoal briquettes from herbal medicine waste, there are 3 formulas the charcoal briquettes from herbal medicine waste in all 3 formulas have the properties that can be used for cooking, which is the charcoal that uses herbal medicine waste, which is a waste material from the pharmaceutical factory, to be used as heat energy and is waste management that helps preserve the environment.

Keywords: Properties study; Charcoal briquette; Herbal medicine waste; Environmental management

บทนำ

พืชสมุนไพรมีความหลากหลายไปตามสภาพ
และระบบนิเวศตามบริบทในแต่ละท้องถิ่นแตกต่างกัน

¹ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

² มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ Corresponding Author E-mail: ajsoonaj@gmail.com

³ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ Corresponding Author E-mail: ajsoonaj@gmail.com

ออกไป การนำพืชสมุนไพรมาปรับใช้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการรักษาโรค และการใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ จึงมีความแตกต่างและหลากหลายไปด้วยกัน ความหลากหลายเช่นนี้ในพืชสมุนไพร รวมถึงภูมิปัญญาท้องถิ่นในการใช้สมุนไพรในการรักษาโรคต่าง ๆ เป็นความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันระหว่างพืชกับมนุษย์ที่ต้องพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันมาเป็นเวลายาวนาน แสดงให้เห็นถึงการใช้ประโยชน์จากสมุนไพรอย่างยั่งยืน¹

รัฐบาลได้ให้ความสำคัญกับการเร่งรัดพัฒนาประเทศด้วยการใช้โมเดลทางเศรษฐกิจใหม่ที่เรียกว่า BCG in Action : The New Sustainable Growth Engine (Bio-Circular-Green Economy) โมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน การพัฒนา 3 เศรษฐกิจ คือ เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) มุ่งสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน เศรษฐกิจหมุนเวียน เป็นประเด็นยุทธศาสตร์หลักที่เกี่ยวข้องกับ 4 ยุทธศาสตร์เป้าหมายของ BCG โดยเศรษฐกิจหมุนเวียนได้รับการยอมรับว่าจะช่วยสร้างการเติบโตทางเศรษฐกิจของโลกเพิ่มขึ้นโดยใช้ทรัพยากรที่น้อยลง รวมถึงเป็นการสร้างสังคมแห่งความยั่งยืนอย่างยั่งยืน การขับเคลื่อนนำเศรษฐกิจหมุนเวียนมาปรับใช้ยังไม่เห็นผลความสำเร็จที่ชัดเจนนัก การพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนของไทยยังมีประเด็นที่เป็นความท้าทาย ปัญหาต้นทุนสิ่งแวดล้อมและต้นทุนทางสังคมเพื่อการจัดการปัญหามลพิษและผลกระทบที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นทุกปี²

ปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันได้ทวีความรุนแรงมากขึ้นตามความเจริญทางเทคโนโลยี และการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ภายใต้แนวคิดการมีส่วนร่วมในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมและการประหยัดพลังงาน มีการใช้ทรัพยากรที่คุ้มค่า การใช้พลังงานทดแทน มีการบูรณาการด้านการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและประหยัดพลังงาน ปัจจุบันพลังงานถือเป็นปัจจัยสำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน และเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในภาคธุรกิจ การใช้พลังงานใน

ปัจจุบันมีการสูญเสียพลังงานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการมองข้ามความสำคัญของการประหยัดพลังงาน ทำให้พลังงานลดน้อยลงไปเกิดเป็นปัญหาวิกฤตต่อภาวะเศรษฐกิจและสังคม ทุกหน่วยงานจึงพยายามหามาตรการลดใช้พลังงานและมีการสนับสนุนให้ใช้พลังงานทดแทน เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีพืชผลทางการเกษตรที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนได้ เช่น กากข้าวโพด ไม้ไผ่ แกลบข้าว ชานอ้อย ผักตบชวา กะลามะพร้าว ผลกระบก³ การเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาถูกและต้องเป็นเชื้อเพลิงที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด ทางออกของการหาแหล่งพลังงานมาใช้ ได้แก่ การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การนำมาแปรรูปเพื่อใช้เป็นพลังงาน สามารถทำได้ด้วยการผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง เช่น กะลามะพร้าวซึ่งเป็นชีวมวล นำมาเผาและอัดแท่งด้วยกรรมวิธีอัดเย็นจะให้ถ่านอัดแท่งที่มีคุณสมบัติที่ดีมากและถือว่าเป็นวัตถุดิบอันดับหนึ่งของการผลิตถ่านในกระบวนการอัดเย็น เนื่องจากถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวจะให้ความร้อนที่สูงและใช้ถ่านน้อย ทำให้ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวเป็นที่นิยมของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศเป็นอย่างมาก⁴ จากปัญหาดังกล่าวและความต้องการในการใช้พลังงานทดแทนที่เพิ่มสูงขึ้น จึงมีการนำวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้มาทำถ่านอัดแท่งซึ่งมีจำนวนมากแต่ก็ควรคำนึงถึงคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร และศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการให้พลังงานความร้อน การดูดกลิ่น การรักษาอาการโรค โดยการใช้สมุนไพรนึ่งถ่าน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสอดคล้องกับเศรษฐกิจหมุนเวียน และส่งผลให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยทำการทดลองผลิตถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพรตามอัตราส่วนที่เหมาะสม 3 สูตร โดยนำกากยาสมุนไพรจากโรงงานผลิตยาสมุนไพรในตำบลคลองสี่ อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ไปผสมกับผงถ่าน แป้งมันสำปะหลัง และน้ำ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม จากนั้นนำไปผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม แล้วนำถ่านอัดแท่งที่ผสมกากยาสมุนไพร ทั้ง 3 สูตร ไปหาประสิทธิภาพ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง ณ ห้องปฏิบัติการของศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยใช้วัสดุและอุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

- 1) ผงถ่านไม้
- 2) กากยาสมุนไพร จำนวน 3 สูตร ได้แก่
สูตรที่ 1 : โกฐจุฬาลัมพา ขมิ้น ชিং และไพล
สูตรที่ 2 : พริกไทยดำ และดีปลี
สูตรที่ 3 : ประสะเปราะใหญ่ ลูกจันทน์ และดอกจันทน์

3) แป้งมันสำปะหลัง

4) น้ำเปล่า

1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

- 1) เครื่องอัดแท่งถ่าน
- 2) เครื่องย่อยวัตถุดิบ
- 3) ตู้อบแห้ง อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
- 4) ตราชั่ง ขนาด 15 กิโลกรัม
- 5) เครื่องชั่งดิจิตอล

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 การเตรียมถ่านบด

ดำเนินการนำถ่านไม้ไปบดละเอียดด้วยเครื่องย่อยวัสดุตั้งรูปที่ 1 ให้ได้เป็นผงถ่านไม้ดังรูปที่ 2 และดำเนินการตรวจสอบส่วนประกอบเจือปนอื่นที่ไม่ใช่ผงถ่าน เช่น เศษดิน เศษกิ่งไม้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 เครื่องย่อยวัสดุ



รูปที่ 2 ผงถ่านไม้บดละเอียดด้วยเครื่องย่อยวัสดุ



รูปที่ 3 ตรวจสอบสิ่งเจือปนในผงถ่านไม้



รูปที่ 4 ชั่งน้ำหนักผงถ่าน

รูปที่ 5 ชั่งน้ำหนักแป้งมัน
สำปะหลัง

รูปที่ 6 เตรียมส่วนผสมวัตถุดิบ



รูปที่ 1 คลุกเคล้าส่วนผสมแห้งให้เข้ากัน



รูปที่ 8 คลุกเคล้าส่วนผสมแห้งกับน้ำ

2.2 การเตรียมวัตถุดิบกากยาสมุนไพร

การเตรียมกากยาสำหรับการผสมเพื่อ

ดำเนินการทำเป็นถ่านอัดแท่ง มีทั้งหมด 3 สูตร ดังนี้

สูตรที่ 1 โกฐจุฬาลัมพา ขมิ้น ชิง และไพล

สูตรที่ 2 พริกไทยดำและดีปลี

สูตรที่ 3 ประสะเปราะใหญ่ ลูกจันทร์ และ
ดอกจันทร์

2.3 ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ

ดำเนินการชั่งน้ำหนักวัตถุดิบและส่วนผสมทั้งหมด (รูปที่ 4-รูปที่ 6) แล้วนำไปผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันโดยใช้อัตราส่วน ผงถ่านไม้ : สมุนไพร : แป้ง : น้ำ เท่ากับ 4.00 : 1 : 0.50 : 1.67~2.5 (ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุผสมเพื่อให้ขึ้นรูปเป็นแท่งถ่านได้) โดยทำคลุกเคล้าวัสดุที่แห้งให้เข้ากันก่อน (รูปที่ 7) แล้วจึงใส่น้ำแล้วทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันทั่วถึง (รูปที่ 8) โดยปริมาณน้ำอาจแปรผันตามวัตถุดิบและส่วนผสมทั้งหมด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมวัตถุดิบ

สูตรที่	น้ำหนักผงถ่านไม้ (kg)	น้ำหนักสมุนไพร (kg)	น้ำหนักแป้ง (kg)	น้ำหนักน้ำ (kg)	น้ำหนักส่วนผสม รวม (kg)	ปริมาณน้ำ (%)
1	7.2	1.8	0.9	4.2	14.1	28.79
2	9.6	2.4	1.2	4.0	17.2	23.26
3	7.2	1.8	0.9	4.5	14.4	31.25

2.4 ขั้นตอนการอัดแท่งถ่านผสมสมุนไพร

ดำเนินการเปิดเครื่องอัดถ่านแบบสกรู ขนาดกำลัง 5 แรงม้า แล้วใส่วัสดุที่ผสมคลุกเคล้าเข้ากันดีแล้วลงในช่องป้อนวัสดุ ชุดเกลียวจะอัดและขับเคลื่อนแท่งถ่านออกทางช่องเปิดด้านข้าง แล้วใช้มีดหรือแผ่นเหล็กตัดแท่งถ่านที่ถูกอัดออกมาที่มีความยาว 10-15 เซนติเมตร (รูปที่ 9) ใช้เวลาอัด 20-30 นาที ต่อส่วนผสม 14-16 กิโลกรัม ดังตารางที่ 2



รูปที่ 9 การอัดถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร

ตารางที่ 2 ระยะเวลาอัดถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรแต่ละสูตร

สูตรที่	น้ำหนักส่วนผสม (kg)	ระยะเวลาผสมวัตถุดิบ (นาที)	ระยะเวลาอัด (นาที)	น้ำหนักถ่านอัดแท่ง (kg)
1	14.1	3.12	30.00	14.0
2	17.2	3.68	24.82	15.6
3	14.4	2.37	31.00	13.2

2.5 ขั้นตอนการอบแห้งถ่าน

นำถ่านอัดแท่งที่ขึ้นรูปแล้วไปชั่งน้ำหนักแล้วนำเข้าตู้อบแห้งอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาอบ 8 ถึง 12 ชั่วโมง (รูปที่ 10) ได้น้ำหนักถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรแต่ละสูตรดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 น้ำหนักถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร

สูตรที่	น้ำหนักถ่านอัดแท่งก่อนอบแห้ง (kg)	น้ำหนักถ่านอัดแท่งหลังอบแห้ง (kg)
1	14.0	9.68
2	15.6	11.75
3	13.2	9.15



รูปที่ 10 การอบแห้งถ่านอัดแท่ง

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร

ผู้วิจัยได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร โดยได้ทำการทดลองอัดแท่งด้วยการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจำนวน 3 อัตราส่วนที่ต่างกัน จนได้อัตราส่วนผสมของถ่านผสมกากยาสมุนไพรที่เหมาะสม โดยเป็นอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสาน และได้ทำการทดสอบอัดแท่งถ่าน โดยใช้ส่วนผสมของ ผงถ่าน ไม้ : สมุนไพร : แป้ง : น้ำ ทั้ง 3 สูตร มีดังนี้

สูตรที่ 1 อัตราส่วน 4.00 : 1 : 0.50 : 2.33

สูตรที่ 2 อัตราส่วน 4.00 : 1 : 0.50 : 1.67

สูตรที่ 3 อัตราส่วน 4.00 : 1 : 0.50 :

2.50

โดยอัตราส่วนของน้ำจะแปรผันตามความชื้นของวัตถุดิบสมุนไพรที่ใช้ในการผสมเพื่ออัดแท่งถ่านพบว่า สามารถอัดแท่งขึ้นรูปถ่านผสมกากยาสมุนไพรได้ดีทั้ง 3 สูตร กล่าวคือ ถ่านมีการจับตัวเกาะแน่นและมีผิวเรียบได้เช่นเดียวกับการขึ้นรูปผงถ่านไม้

2. ผลการศึกษาคูสมบัติถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร

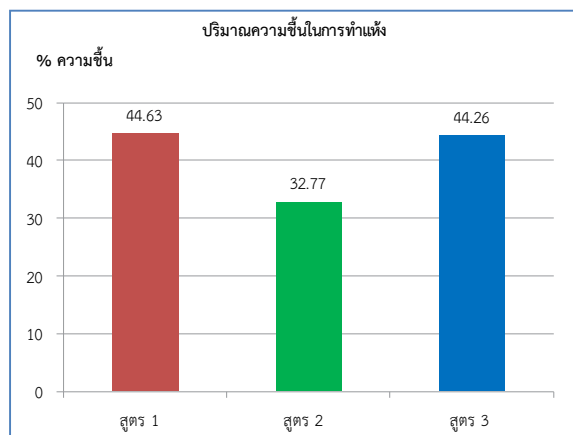
2.1 ผลการศึกษาความชื้นของถ่านอัดแท่งผสมกากยาสมุนไพร

ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำเทียบกับน้ำหนักแห้งของถ่านผสมสมุนไพรอัดแท่งทั้ง 3 สูตร พบว่ามีปริมาณน้ำในถ่านอัดแท่งสูตรที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 44.63%, 32.77% และ 44.26% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความชื้นของถ่านอัดแท่งก่อนอบ Water content (Dry basis)

สูตร ที่	น้ำหนักถ่าน อัดแท่งก่อน อบแห้ง (kg)	น้ำหนักถ่าน อัดแท่งหลัง อบแห้ง (kg)	น้ำหนัก น้ำ (kg)	Water content (Dry basis) (%)
1	14.0	9.68	4.32	44.63
2	15.6	11.75	3.85	32.77
3	13.2	9.15	4.05	44.26

ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำ- Water content (Dry basis) ที่ทดสอบได้จากตารางที่ 4 จะมีค่าสูงกว่าปริมาณที่ใส่ลงในส่วนผสมถ่านอัดแท่งแต่ละสูตรจากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ในผงถ่านและส่วนผสมสมุนไพรในสูตรที่ 1, 2 และ 3 ยังมีปริมาณน้ำในวัตถุดิบแห้งอยู่เท่ากับ 15.84%, 9.51% และ 13.01% ตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 Water content (Dry Basis)

จากภาพประกอบที่ 1 พบว่ามีปริมาณน้ำในถ่านอัดแท่งสูตรที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 44.63%, 32.77% และ 44.26% ตามลำดับ

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร โดยการสุ่มตัวอย่างถ่านจำนวน 3 ตัวอย่างต่อสูตร แล้วทำการวัดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ พร้อมชั่งน้ำหนักของถ่านแต่ละก้อนด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 7 คุณสมบัติความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

ตารางที่ 5 ผลทางกายภาพของถ่านอัดแท่ง

ถ่านอัดแท่ง	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ϕ (มิลลิเมตร)
สูตร 1	182.27	140.33	50.74
สูตร 2	163.90	118.69	51.45
สูตร 3	171.17	123.14	51.89

จากตารางที่ 5 พบว่าถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร สูตรที่ 1, 2 และ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อก้อน เท่ากับ 182.27, 163.90 และ 171.17 กรัม ตามลำดับ มีความยาวเฉลี่ย 140.33, 118.69 และ 123.14 มิลลิเมตรตามลำดับ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 50.74, 51.45 และ 51.89 มิลลิเมตร ตามลำดับ

2.3 คุณสมบัติความหนาแน่น

การศึกษาความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร โดยการสุ่มตัวอย่างถ่านอัดแท่งใส่ลงในกล่องสี่เหลี่ยมให้เต็มกล่องที่ทราบปริมาตรแน่นอนแล้วทำการชั่งน้ำหนัก และนำมาคำนวณหาความหนาแน่นโดยใช้สมการ ความหนาแน่นถ่านอัดแท่ง (Density) (g/cm^3) = น้ำหนักถ่านอัดแท่ง (g) / ปริมาตรถ่านอัดแท่ง (cm^3) และความหนาแน่นรวม (Bulk Density) (g/cm^3) = น้ำหนักถ่านอัดแท่ง (g) / ปริมาตรกล่อง (cm^3) ดังตารางที่ 6 และ ตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ผลทดสอบความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร

ถ่านอัด แท่ง	น้ำหนักถ่านอัด แท่งเฉลี่ยต่อ ก้อน (g)	ปริมาตร (cm^3)	ความหนาแน่น (Density) (g/cm^3)
สูตร 1	182.27	283.09	0.64
สูตร 2	163.90	246.76	0.66
สูตร 3	171.17	260.41	0.66
เฉลี่ย			0.65

จากตารางที่ 6 พบว่า ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งทั้ง 3 สูตร มีความหนาแน่น 0.64, 0.66 และ 0.66 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.65

ครั้งที่	น้ำหนัก (g)				ปริมาตรกล่อง (cm ³)	ความหนาแน่นรวม (g/cm ³)		
	กล่อง	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3		สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
1	0.09	2,118.90	2,176.50	2,091.30	3,612.50	0.587	0.602	0.579
2	0.09	2,099.80	2,126.00	2,086.70	3,612.50	0.581	0.588	0.578
3	0.09	2,105.60	2,147.30	2,089.00	3,612.50	0.583	0.594	0.578
เฉลี่ย	0.09	2,108.10	2,149.93	2,089.00	3,612.500	0.584	0.595	0.578

ผลการทดสอบพบว่า ค่าความหนาแน่นของก้อนถ่านอัดแท่งสมุนไพรทั้ง 3 สูตรมีค่าเฉลี่ย 0.653 g/cm³ เช่นเดียวกับค่าความหนาแน่นรวมของถ่าน

สมุนไพรทั้ง 3 สูตรมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.584 g/cm³, 0.595 g/cm³ และ 0.578 g/cm³ ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม เท่ากับ 0.586 g/cm³

ตารางที่ 8 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง (ASTMD 7582 and D 5865)

ถ่านอัดแท่ง	คุณสมบัติ				
	ความร้อน %	ความชื้น %	เถ้า%	ถ่านคงตัว %	สารระเหย %
สูตร 1	6,170	-	6.80	44.28	48.92
สูตร 2	6,143	-	8.64	49.31	42.05
สูตร 3	6,097	-	7.04	44.50	48.46

ผลการตรวจวิเคราะห์ พบว่า ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 1 มีค่าความร้อน เท่ากับ ร้อยละ 6,170 ปริมาณเถ้า ร้อยละ 6.80 ถ่านคงตัว ร้อยละ 44.28 และสารระเหย ร้อยละ 48.92 สูตรที่ 2 ค่าความร้อน เท่ากับ ร้อยละ 6,143 ปริมาณเถ้า ร้อยละ 8.64 ถ่านคงตัว ร้อยละ 49.31 และ สารระเหย ร้อยละ 42.05 และสูตรที่ 3 ค่าความร้อน เท่ากับ ร้อยละ 6,097 ปริมาณเถ้า ร้อยละ 7.04 ถ่านคงตัว ร้อยละ 44.50 และ สารระเหย ร้อยละ 48.46 ตามลำดับ

สรุปและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่ง 3 สูตร โดยมีอัตราส่วนระหว่าง ผงถ่าน : กากยาสมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ (กิโลกรัม : กิโลกรัม : กิโลกรัม : ลิตร) สูตรที่ 1 อัตราส่วน 4.00 : 1.00 : 0.50 : 2.33 สูตรที่ 2 อัตราส่วน 4.00 : 1.00 : 0.50 : 1.67 สูตรที่ 3 อัตราส่วน 4.00 : 1.00 : 0.50 : 2.50 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรทั้ง 3 สูตร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่ากากยาสมุนไพรต่างชนิด

กันมีความชื้นของวัตถุดิบไม่เท่ากัน จึงทำให้ใช้น้ำในอัตราส่วนไม่เท่ากันในการผสมผงถ่านเพื่อให้สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งถ่านได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกิตติชาติ เผ่าพงษ์ไพบุลย์ และคณะ⁵ ได้ศึกษา การพัฒนาคุณภาพถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมกะลาปาล์มโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาคุณภาพถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวด้วยการผสมกับกะลาปาล์ม โดยจะแทนที่ผงถ่านกะลามะพร้าวด้วยผงถ่านกะลาปาล์มในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักใช้อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อผงถ่านเท่ากับ 1 : 10 ทำการทดสอบคุณภาพถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ปริมาณความชื้น และค่าความร้อน จากผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มปริมาณผงถ่านกะลาปาล์มจะทำให้ถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณความชื้นจะมีค่าลดลง ถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวผสมกับกะลาปาล์มทุกส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง 238/2547 และสามารถนำไปใช้งานให้ความร้อนในครัวเรือน ที่กำหนดว่าค่าพลังงานความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรี/กรัมหรือ 20.920 MJ/kg

จากนั้นพิจารณา ค่าความหนาแน่น พบว่า ถ่านอัดแท่งจากผลต้นแดงในอัตราส่วนผสม 7:3 มีความหนาแน่นเหมาะสมที่สุด คือ 735.74 Kg/m³ และสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งกำหนดว่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งต้องไม่เกิน 0.8 g/cm³ หรือ 800 kg/cm³ พิจารณา ปริมาณเถ้า พบว่า ถ่านอัดแท่งจากผลมะเลื่อมและผลต้นแดงในทุกอัตราส่วนผสมมีปริมาณเถ้าสูงกว่างานวิจัยที่ผ่านมา พิจารณา ระยะเวลาในการเผาไหม้ พบว่า ถ่านอัดแท่งจากผลมะเลื่อมในอัตราส่วนผสม 8:2 มีระยะเวลาในการเผาไหม้สูงที่สุดคือ 326 นาที สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งกำหนดว่าเวลาในการเผาจนหมดควรน้อยกว่า 60 นาที เมื่อพิจารณาการแตกประทุของถ่านอัดแท่ง จากผลมะเลื่อมและผลต้นแดงทุกอัตราส่วนผสมไม่มีการแตกประทุและตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ (มผช. 238/2547) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปฐมพงษ์ เทียงเพชร³ ได้ศึกษา อัตราส่วนที่เหมาะสมและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากผลกระบอง งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลกระบอง (*Irvingia malayana* Oliv. ex A.W. Benn.) ที่มีมากในพื้นที่ชนบทมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง ถ่านอัดแท่งนี้ใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยให้ความร้อนในการเผาผลกระบองที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผา 3 ชั่วโมง มีการแบ่งเปียงเป็นตัวอย่างประธานผ่านกระบวนการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดถ่านโดยกรรมวิธีอัดเย็น พบว่า ผลกระบองสามารถนำมาเผาได้ ถ่านที่มีสีดำ น้ำหนักเบา นำมาบดให้ละเอียดจนเป็นผงถ่าน ผสมผงถ่านผลกระบองกับกาวแบ่งเปียงในอัตราส่วน 6:1 คลุกเคล้าให้เข้ากัน นำมาอัดให้เป็นแท่งเชื้อเพลิง ได้ถ่านอัดแท่งคงรูปไม่แตกหักเมื่อนำไปอบที่โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผลจากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากผลกระบองเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งจากไม้เบญจพรรณ พบว่า ถ่านอัดแท่งจากผลกระบองมีคุณสมบัติและคุณภาพที่ดีในการนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง มีอัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 3.60 กรัม/นาที ปริมาณเถ้า ร้อยละ 17.41 ปริมาณความชื้น ร้อยละ 7.18 โดยน้ำหนัก และมีค่าความร้อน 6,500 แคลอรี/กรัม ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สูง

เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่งกำหนดค่าความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรี/กรัม จึงจัดได้ว่าถ่านอัดแท่งจากผลกระบองมีประสิทธิภาพการใช้งานให้พลังงานสูง เหมาะสำหรับการใช้งานหุงต้มในครัวเรือน ชุมชน หรือผลิตเพื่อการค้า เนื่องจากไม่มีการแตกประทุของถ่าน มีการติดไฟดี ไม่มีเขม่ามีควันเล็กน้อย และไม่มีการกลืนและค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากผลกระบองมีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากไม้เบญจพรรณที่มีขายตามท้องตลาด ถ่านอัดแท่งจากไม้เบญจพรรณมีค่าความร้อนคือ 6,330 แคลอรี/กรัม ด้วยอรรถประโยชน์เหล่านี้ เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลกระบองมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้แทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟืนและถ่านไม้จากป่าธรรมชาติ ซึ่งเป็นการช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่งด้วย

2. ผลการศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพร พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรสูตรที่ 1, 2 และ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อก้อน เท่ากับ 182.27, 163.90 และ 171.17 กรัม ตามลำดับ มีความยาวเฉลี่ย 140.33, 118.69 และ 123.14 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 50.74, 51.45 และ 51.89 มิลลิเมตร ตามลำดับ และความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรสูตรที่ 1, 2 และ 3 พบว่ามีความหนาแน่นเท่ากับ 0.64, 0.66 และ 0.66 เฉลี่ยเท่ากับ 0.653 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm³) ทั้งนี้เนื่องจากถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรทั้ง 3 สูตร มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ไม่ต่างกันมากนัก จึงทำให้มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กัญญารัตน์ ชื่นด้วง และคณะ⁶ ได้ศึกษาเรื่อง ถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรสำหรับกระบวนการแพทย์แผนไทย เป็นงานวิจัยที่นำเศษถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จากโรงงานอุตสาหกรรมอิฐมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อเพิ่มมูลค่า และเพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร วิเคราะห์หาอัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรที่มีอัตราส่วนที่ทำให้ถ่านอัดแท่งมีน้ำหนักเท่ากันทุกก้อน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน ในวิจัยนี้ได้คำนวณไว้

ทั้งหมด 4 อัตราส่วน อัตราที่แรงดันต่างกันคือ 10 kN และ 20 kN โดยทำการอัดแท่งเป็นทรงกระบอกกลวง เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในมีขนาด 36 และ 7 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความยาวประมาณ 45 - 75 มิลลิเมตร และนำถ่านอัดแท่งสมุนไพรมาทำการทดสอบทั้งหมด 4 การทดสอบ เพื่อทดสอบคุณสมบัติของถ่าน โดยจะมีการทดสอบค่าความร้อน ทดสอบการต้มต้มน้ำเดือด ทดสอบด้วยแรงอัด และทดสอบความทนทานของถ่านอัดแท่ง ผลการทดสอบ พบว่า อัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนได้ดีที่สุด คือ อัตราส่วน 32 : 4 : 4 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความร้อน อยู่ที่ 5,995 - 6,100 แคลอรีต่อกรัม และมีประสิทธิภาพความร้อนดีที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนอื่นๆ และอัตราส่วนที่มีความแข็งแรงและความทนทานมากที่สุดคือ 28 : 4 : 8 เมื่อทดสอบความทนทาน พบว่าถ่านหายไปเพียง 3.51 - 4.97 % ทดสอบด้วยแรงอัด พบว่า สามารถรับแรงอัดเฉลี่ยได้เยอะที่สุดคือ 4,660.40 และ 7,717.59 N และมีค่าความเค้นเฉลี่ย 45.8 kPa และ 75.8 kPa และสอดคล้องกับงานวิจัยของ วสันต์ ปินะเต⁷ ได้ศึกษาประสิทธิภาพถ่านอัดแท่งจากผลมะเลื่อมและผลต้นแดง การวิจัยนี้เป็นผลของต้นไม้ยืนต้นที่มีปริมาณมากในพื้นที่มาทำการวิจัยโดย การผลิตถ่านอัดแท่งจากผลมะเลื่อม (ผลมะเลื่อม : แป้งมัน) ที่อัตราส่วนผสม 8:2 และ 7:3 กับ ผลต้นแดง (ผลต้นแดง : แป้งมัน) ที่อัตราส่วนผสม 8:2 และ 7:3 ซึ่งใช้วิธีการอัดแท่งแบบ อัดเย็นด้วยเครื่องอัดชนิดเกลียวโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3.5 แรงม้าและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากผลมะเลื่อม และผลต้นแดงในอัตราส่วนผสมของตัวประสานที่แตกต่างกัน โดยทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น ระยะเวลาในการเผาไหม้และกระแตกประทุของถ่านอัดแท่งเพื่อพิจารณาส่วนผสมที่ดีที่สุดต่อการเป็นถ่านอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพ ผลการทดลองพบว่า การผลิตถ่านอัดแท่งจากผลมะเลื่อม และผลต้นแดงในทุกอัตราส่วนผสมสามารถผลิตเป็นถ่านอัดแท่งซึ่งได้ถ่านที่มีลักษณะผิวเรียบ ก้อนถ่านอัดแท่งแห้งสนิท แข็งคงรูป เกาะตัวเป็นแท่งอย่างดี และเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน พบว่า

ถ่านอัดแท่งจากผลมะเลื่อมในอัตราส่วนผสม 8:2 มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดคือ 25.917 MJ/kg และผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ผลการวิจัย เรื่อง การศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพรเพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งและศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1.1 โรงงานผลิตยาสมุนไพร และวิสาหกิจชุมชนด้านสมุนไพรสามารถนำสูตรถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร ทั้ง 3 สูตรไปพัฒนาต่อยอดทำผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งสมุนไพรจำหน่ายเป็นสินค้าชุมชนและนำไปสู่การส่งออกหรือจำหน่ายให้กับร้านอาหารได้

1.2 ผู้ประกอบการร้านอาหารสามารถนำถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรไปใช้ในการปิ้งย่างอาหารเพื่อให้เกิดความหอมของกลิ่นสมุนไพรเป็นการเพิ่มคุณสมบัติของอาหารในด้านประโยชน์ของกลิ่นสมุนไพร และเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์อาหาร

1.3. สถานพยาบาลทางการแพทย์แผนไทยทั้งภาครัฐและเอกชน สามารถนำสูตรและวิธีการผลิตถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดรักษาโรคของสตรีโดยใช้วิธีนึ่งถ่าน หรือทำถ่านอัดแท่งสมุนไพรสำหรับใช้อยู่ไฟให้กับสตรีหลังคลอด โดยเลือกสมุนไพร และไม้สำหรับทำถ่านให้ถูกต้องตามหลักทฤษฎีทางการแพทย์แผนไทยสาขามดุงครรภ์ไทย และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในธุรกิจสปาได้

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาวิจัยการพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากยาสมุนไพรตามตำรับยาและสรรพคุณของสมุนไพรในการบำบัดรักษาโรคที่ใช้ในกรรมวิธี การนึ่งถ่าน การอยู่ไฟ การสุ่มยา การย่างยา และอื่น ๆ ตามกรรมวิธีทางการแพทย์แผนไทยและการแพทย์พื้นบ้าน

2.2 ควรศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เหมืองปาล์มน้ำมัน และวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่และไม้ชนิดอื่นมาทดลองทำถ่านอัดแท่งสูตรต่าง ๆ เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Bio economy) เป็นการช่วยลดขยะ และลดปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อม

2.3 ควรศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร โดยการทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ASTM เช่น ค่าความชื้น เถ้า สารระเหย ถ่านคงตัว ค่าความร้อน และนำถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรไปทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.23822547) เพื่อให้ได้ถ่านอัดแท่งที่มีคุณภาพมาตรฐานเกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

1. ศศิธร พุทธิรักษ์, ประถม ทองศรีรักษ์, และ กาญจนา ราชสุวรรณ. (2561). การสำรวจพืชสมุนไพรในพื้นที่ป่าปึกทรัพยากร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี กับการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนตามภูมิปัญญาท้องถิ่นในจังหวัดจันทบุรี. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
2. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.(2563). รายงานประจำปี 2563 สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 1. ISBN: 978-616-8261-96-5. กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง จังหวัดปทุมธานี.
3. ปฐมพงษ์ เทียงเพชร, ราตรี บุมี, ขวัญดาว แจ่มแจ้ง. (2566). ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากผลกระบอง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566.
4. แม้นวาด รัชนิกร ไกรลาศ. และคณะ. (2566). การพัฒนาถ่านอัดแท่งที่เหมาะสมจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรประเภทเปลือกเมล็ดกระบอง. วารสารวิชาการเทสตี I-TECH.
5. กิตติชาติ เฝ้าพงษ์ไพบูลย์ และคณะ (2567). การพัฒนาคุณภาพถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมกะลาปาล์มโดยใช้แป้งกันสำประหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน.วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.
6. กัญญารัตน์ ชื่นด้วง, ขนิษฐา พัฒนจันทร์, ณัฐพล หลากสุขถม. (2561).ถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรสำหรับกระบวนการแพทย์แผนไทย. ปรินญาพนธ์.มหาวิทยาลัยนเรศวร.
7. วสันต์ ปินะเต.ดวงกมล ดังโพนทอง. (2567). ประสิทธิภาพถ่านอัดแท่งจากผลมะเลื่อมและผลต้นแดง. มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย. ประชุมวิชาการระดับชาติ.