การศึกษาศักยภาพของผลสำโรงสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

A Study of the Potential of Samrong (Sterculia foetida) Fruit as Biomass Fuel

ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล[1*] สุภกร บุญยืน[2] ภัทราวดี โชติจำลอง[1] และ ปวีณสุดา ยงเพชร[1]

Tanit Ruangrungchaikul[1*] Supakorn Boonyuen[2] Phatthrawadi Chotjamlong[1] and Paweensuda Yongphet[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120

[2]สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120

[1]Sustainable Development Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Campus, Pathum Thani 12120

[2]Chemistry, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Rangsit Campus,
Pathum Thani 12120

*Corresponding author: Tel.: 084 7528947. E-mail address: tutanit@hotmail.com

Received: 15 September 2022, Revised: 20 April 2023, Accepted: 30 April 2023, Published online: 30 August 2023

Abstract

This research aimed to investigate the potential of Samrong fruit as a biomass fuel, both for direct use as cooking fuel and for producing charcoal. The results showed that after sun-drying for 7 days, the Samrong fruit had a calorific value of 3.86 kcal/g, which was higher than that of rice husk, rice straw, and corncob. To use Samrong fruit directly as cooking fuel, further drying is needed to reduce moisture content, which can increase its calorific value even more compared to using fresh fruit. In addition, the study explored the process of producing charcoal from Samrong fruit by burning it at different temperatures (500, 700, and 900 °C) for 2 hours. The research found that a burning temperature of 500 °C was the most suitable for producing Samrong fruit charcoal. Since it was the lowest temperature, the charcoal yield did not have a significant difference ($p<0.05$) compared to other temperatures.Moreover, the Samrong fruit charcoal obtained at 500 °C had the highest calorific value of 4.72 kilocalories per gram. This indicates that Samrong fruit has great potential as a biomass fuel and as a raw material for charcoal production, offering higher energy content compared to other common biomass sources.

Keywords: Samsong fruit, charcoal, biomass

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาศักยภาพของผลสำโรงสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ทั้งการใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มโดยตรงและการนำไปผลิตเป็นถ่านผลสำโรง ผลการศึกษาพบว่า ผลสำโรงที่ตากแดด 7 วัน มีค่าความร้อนเท่ากับ 3.86 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม มีค่าความร้อนสูงกว่าแกลบ ฟางข้าว และซังข้าวโพด การนำผลสำโรงไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงจำเป็นต้องนำไปตากแห้งเพื่อลดความชื้นก่อน ซึ่งจะทำให้มีค่าความร้อนมากขึ้นกว่าผลสด และเมื่อนำผลสำโรงไปผลิตเป็นถ่านผลสำโรง โดยเผา ณ อุณหภูมิ 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า ถ่านผลสำโรงที่เผา ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการผลิตถ่านมากที่สุด เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่น้อยที่สุดที่ให้ผลผลิตถ่านไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการเผาที่อุณหภูมิอื่น โดยถ่านผลสำโรงที่ได้มีค่าความร้อนสูงสุดที่ 4.72 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม

คำสำคัญ: ผลสำโรง ถ่าน เชื้อเพลิงชีวมวล

บทนำ

สำโรงเป็นไม้ยืนต้นผลัดใบขนาดใหญ่ สามารถนำส่วนต่าง ๆ ของสำโรงไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การนำเนื้อไม้อ่อนไปตกแต่ง การใช้ฝักสำโรงช่วยสมานแผลในกระเพาะอาหาร การผลิตยาระบายจากเมล็ดสำโรง การนำน้ำมันในเม็ดมาใช้ปรุงอาหารและจุดไฟ การใช้ผลสำโรง (ภาพที่ 1) มาช่วยละลายเสมหะ เป็นต้น [1] แต่การนำผลสำโรงมาใช้ประโยชน์ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ทำให้มีเศษเหลือทิ้งและถูกทำลายเป็นจำนวนมาก ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ภูมิอากาศ และสุขภาพเป็นอย่างมาก

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นปัญหาดังกล่าว จึงมีความสนใจในการนำผลสำโรงมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผลสำโรงมาทำเป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มโดยตรง หรือ ผลิตเป็นถ่านผลสำโรง เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการใช้พลังงานในครัวเรือน และเป็นการผลิตเชื้อเพลิงจากเศษเหลือทิ้งจากพืชมาช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงถ่านไม้จากท้องตลาด

การผลิตถ่านจากชีวมวล (เศษเหลือทิ้งจากพืช) แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นแรกคือ การไล่ความชื้น (Dehydration) เป็นกระบวนการที่ชีวมวลดูดความร้อนมาสะสมไว้ให้มากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน มีอุณหภูมิในช่วง 20-270 องศาเซลเซียส ขั้นที่สองคือ การเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน (Carbonization) เป็นช่วงที่เซลลูโลสและลิกนินสลายตัวและสามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ ซึ่งมีอุณหภูมิในช่วง 270-400 องศาเซลเซียส ขั้นที่สามคือ การทำถ่านให้บริสุทธิ์ (Refinement) โดยการเพิ่มอากาศในการเผาไหม้ เป็นช่วงที่ไล่น้ำมันดิน หรือสารระเหยต่าง ๆ ถ้านำถ่านที่อุณหภูมิต่ำกว่า 425 องศาเซลเซียสไปเป็นเชื้อเพลิงในการปิ้ง-ย่าง จะเกิดเป็นสารก่อมะเร็ง ได้แก่ 3.4-Benzopyrene และ 1.2.5.6-Dibenzanthracene จึงต้องมีการทำถ่านให้บริสุทธิ์โดยใช้อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส และขั้นสุดท้ายคือ การทำให้เย็น (Cooling) เป็นช่วงที่ไม่ให้อากาศสัมผัสกับถ่าน เพื่อทำให้อุณหภูมิถ่านลดลงต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส (ถ้าถ่านมีอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ถ่านจะลุกติดไฟเองได้) ซึ่งการผลิตถ่านโดยทั่วไปจะให้อัตราผลผลิตประมาณร้อยละ 20-22 [2]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของผลสำโรงและถ่านจากผลสำโรง ซึ่งเป็นการนำเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และเป็นพลังงานทางเลือกที่มีความยั่งยืน

(ก) ผลสด (ข) ผลแห้ง

ภาพที่ 1 ผลสำโรง

วิธีการวิจัย

การศึกษาศักยภาพของผลสำโรงสำหรับการทำเชื้อเพลิง แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ช่วง ดังต่อไปนี้

1) การเตรียมเศษเหลือทิ้งจากพืช

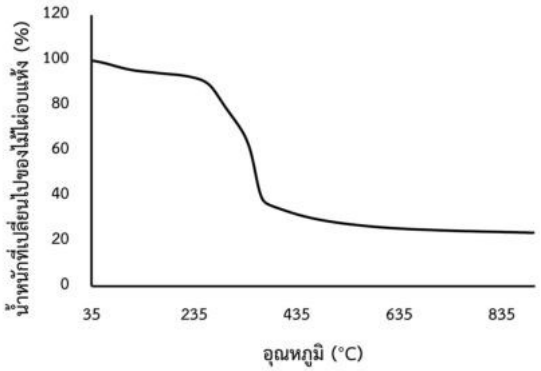
การเตรียมเศษเหลือทิ้งจากพืชสำหรับการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การเตรียมผลสำโรง ผู้วิจัยเตรียมผลสำโรง 2 ลักษณะคือ ผลสำโรงที่ไม่ตากแห้ง และ ผลสำโรงที่ตากแห้ง 7 วัน เพื่อลดความชื้น จากนั้นทำการย่อยผลสำโรงทั้งสองแบบให้มีขนาดเล็ก เพื่อนำไปเผาเป็นถ่านผลสำโรงที่อุณหภูมิแตกต่างกันและหาค่าพลังงานความร้อน

ส่วนที่ 2 การเตรียมวัสดุเหลือทิ้งอื่น ๆ ในการผลิตถ่าน ได้แก่ เปลือกทุเรียน ลำต้นเพกา ลำต้นไม้ไผ่ เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนกับถ่านจากผลสำโรง

2) การเผาถ่านในอุณหภูมิที่เหมาะสม

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาถ่านจากรายงานสภาวะการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของไม้ไผ่อบแห้งที่เหมาะสมเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในระบบปิด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยวิธี Thermogravimetric Analysis (TGA) [3] พบว่า ในช่วงอุณหภูมิน้อยกว่า 235 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียสารอินทรีย์และน้ำร้อยละ 15 และสูญเสียสารอินทรีย์อย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิ 235-435 องศาเซลเซียส เนื่องจากการไล่สารระเหยยังไม่สมบูรณ์ ทำให้ถ่านไม่บริสุทธิ์ ดังภาพที่ 2 และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 500 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมีค่าคงที่ ซึ่งเป็นช่วงที่ความชื้นและสารระเหยระเหยออกจนหมด ทำให้สารที่พบอยู่ในกลุ่มออกไซด์ของอนินทรีย์ (พบในรูปของขี้เถ้า) อีกทั้งการเผาถ่านที่อุณหภูมิต่ำกว่า 500 องศา จะยังคงมีสารก่อมะเร็งตกข้างอยู่ในถ่าน [2] ผู้วิจัยจึงนำเศษเหลือทิ้งจากพืชตัวอย่างอย่างละ 20 กรัม มาผลิตถ่านในระบบปิด โดยใช้เตาเผาแบบอุณหภูมิสูง (Electric furnace) ที่ช่วงอุณหภูมิ 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนมาก สามารถเป็นเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงได้



ภาพที่ 2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่เกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิของไม้ไผ่อบแห้ง [3]

3) การหาค่าความร้อน (Heating value)

การหาค่าความร้อนของเศษเหลือทิ้งจากพืช และถ่านจากเศษเหลือทิ้งจากพืชนั้น นำตัวอย่างที่ไม่มีความชื้นมาบด ให้ได้ปริมาณ 1 กรัม จากนั้นอัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด (Pellet press) แล้วนำไปใส่ในกระบอกบรรจุตัวอย่าง (Bomb Cylinder) และอัดออกซิเจนในกระบอกบรรจุตัวอย่างให้มีความดัน 28-30 บรรยากาศ ต่อมาใส่น้ำ 2,000 มิลลิลิตร ในเสื้อฉนวน (Jacket) และนำกระบอกบรรจุตัวอย่างใส่ในเครื่อง Oxygen bomb calorimeter (ภาพที่ 3) เพื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ และคำนวณค่าความร้อนในหน่วยกิโลแคลอรี่ต่อกรัม (kcal/g)

ภาพที่ 3 เครื่อง Oxygen bomb calorimeter

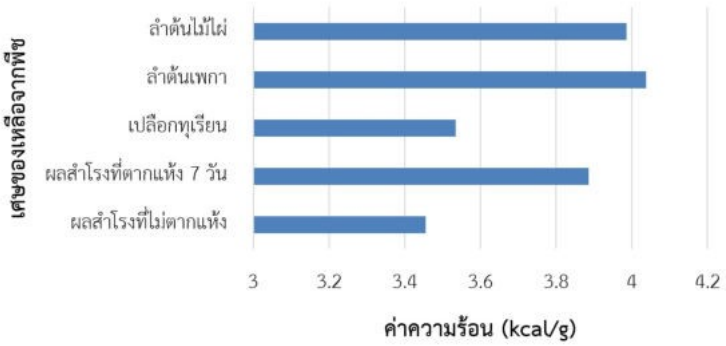
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลของการวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1) ผลการทดสอบค่าความร้อนของผลสำโรง และ 2) ผลการทดสอบค่าความร้อนของถ่านผลสำโรง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ผลการทดสอบค่าความร้อนของผลสำโรง

ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของผลสำโรง (แบบไม่ตากแห้ง และ แบบตากแห้ง 7 วัน) กับเศษของเหลือจากพืชอื่น ๆ (เปลือกทุเรียน ลำต้นเพกา ลำต้นไม้ไผ่) (ภาพที่ 4) พบว่า ค่าความร้อนของผลสำโรงที่ตากแห้ง 7 วัน มีค่า 3.89 kcal/g ซึ่งมากกว่า ผลสำโรงแบบไม่ตากแห้ง 0.43 kcal/g แสดงให้เห็นว่าความชื้นในผลสำโรง (และความชื้นของเศษของเหลือจากพืชชนิดอื่น ๆ) มีผลต่อค่าความร้อนค่อนข้างมาก และค่าความร้อนของผลสำโรงที่ตากแห้งมีค่าใกล้เคียงกับ

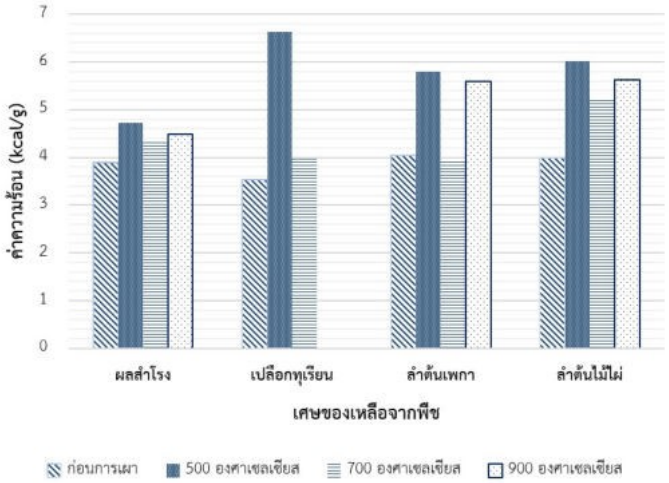
ลำต้นเพกาและลำต้นไม้ไผ่ แสดงให้เห็นว่าผลสำโรงมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับเศษของเหลือจากพืชทั้งสอง เนื่องจากผลสำโรงมีความแข็งและหนาทำให้ต้องใช้ความร้อนสูงในการให้ความร้อน อีกทั้งค่าความร้อนของผลสำโรงมีค่าความร้อนสูงกว่าชีวมวลที่พบได้มากในประเทศไทย เช่น แกลบ (3.23 kcal/g), ฟางข้าว (2.95 kcal/g) และ ซังข้าวโพด (2.30 kcal/g) อีกด้วย [4]



ภาพที่ 4 ค่าความร้อนของเศษของเหลือจากพืชแต่ละชนิด

2) ผลการทดสอบค่าความร้อนของถ่านผลสำโรง

ในภาพที่ 5 แสดงค่าความร้อนของถ่านจากเศษของเหลือจากพืช ได้แก่ ผลสำโรง เปลือกทุเรียน ลำต้นเพกา และลำต้นไม้ไผ่ ที่อุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ถ่านผลสำโรงให้ค่าความร้อน 4.72 kcal/g ซึ่งต่ำกว่า ถ่านเปลือกทุเรียน (6.64 kcal/g) ถ่านลำต้นเพกา (5.80 kcal/g) และถ่านลำต้นไม้ไผ่ (6.02 kcal/g) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาเป็น 700 องศาเซลเซียส ถ่านผลสำโรงมีค่าความร้อนลดลง (4.33 kcal/g) แต่มีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านเปลือกทุเรียน (3.40 kcal/g) และถ่านลำต้นเพกา (3.92 kcal/g) ส่วนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ถ่านผลสำโรงให้ค่าความร้อนต่ำสุดคือ 4.49 kcal/g แต่เมื่อมองในภาพรวมเกี่ยวกับอุณหภูมิในการเผาถ่านช่วง 500-900 องศาเซลเซียส พบว่าถ่านจากผลสำโรงให้ค่าความร้อนที่สม่ำเสมอ เช่นเดียวกันกับถ่านลำต้นไม้ไผ่ แสดงให้เห็นว่าถ่านผลสำโรงมีค่าความร้อนคงที่ในช่วงอุณหภูมิ 500-900 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของเศษของเหลือจากพืชก่อนการเผาและเมื่อเผาโดยใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน

นอกจากนั้น เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตถ่านผลสำโรง ในแต่ละอุณหภูมิ (ตารางที่ 1) พบว่า ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตถ่านสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 24.58±1.28 แต่มีผลผลิตที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (ร้อยละ 22.67±8.08) และ 900 องศาเซลเซียส (ร้อยละ 14.62±6.04) แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผามากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละผลผลิตของถ่านผลสำโรงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากคาร์บอนในผลสำโรงเผาไหม้อย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว [5-6] ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาผลสำโรงเพื่อเปลี่ยนเป็นถ่าน คือ 500 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 อัตราผลผลิตถ่านจากผลสำโรงเมื่อเผาโดยใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิในการเผาถ่านผลสำโรง (องศาเซลเซียส)	อัตราผลผลิตของถ่าน (ร้อยละ)				ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
500	14	30	24	22.67	8.08
700	23.5	24.25	26	24.58	1.28
900	9	21	13.86	14.62	6.04

ตารางที่ 2 ข้อมูลการจัดกลุ่มทางสถิติอัตราผลผลิตถ่านจากผลสำโรงที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ($p<0.05$)

อุณหภูมิในการเผาถ่านผลสำโรง (องศาเซลเซียส)	จำนวนซ้ำ (N)	ค่าเฉลี่ย	การจัดกลุ่ม
700	3	24.58	A
500	3	22.67	A
900	3	14.62	A

จากผลการวิจัยนี้จะเห็นว่า ผลสำโรงมีศักยภาพที่สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ เมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวล (ของเหลือทิ้ง) อื่น ๆ ดังนั้นในชุมชนที่มีต้นสำโรงหรือชาวบ้านที่ปลูกต้นสำโรงมีความเป็นไปได้ที่จะเก็บผลสำโรงมาขายเป็นใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยนำมาผลิตเป็นถ่านผลสำโรงขายสร้างรายได้ให้กับครัวเรือนได้ หรือ นำไปเป็นส่วนผสมของการผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือทิ้ง เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาศักยภาพของผลสำโรงสำหรับการทำเชื้อเพลิง ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของผลสำโรง (ไม่ตากแห้ง และ ตากแห้ง 7 วัน) เศษของเหลือจากพืช (เปลือกทุเรียน ลำต้นเพกา ลำต้นไม้ไผ่) ซึ่งพบว่าผลสำโรงตากแห้ง 7 วัน มีค่าความร้อน ประมาณ 3.89 kcal/g ซึ่งสูงกว่าผลสำโรงไม่ตากแห้ง และสูงกว่าค่าความร้อนของแกลบ (3.23 kcal/g) ฟางข้าว (2.95 kcal/g) และ ซังข้าวโพด (2.30 kcal/g) และเมื่อผลิตเป็นถ่านผลสำโรงและถ่านจากเศษของเหลือจากพืช โดยใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส พบว่า ถ่านผลสำโรงที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการนำไปผลิตถ่านมากที่สุด เนื่องจาก เป็นอุณหภูมิที่น้อยที่สุดที่สามารถผลิตถ่านได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยถ่านผลสำโรงมีค่าความร้อน ประมาณ 4.72 kcal/g ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลสำโรงมีศักยภาพในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงทั้งในรูปของการเผาไหม้ให้ความร้อนโดยตรงหรือการผลิตเป็นถ่านผลสำโรง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร และห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ และ สถานที่ในการทำวิจัย ให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] เมดไทย (Medthai). (2562). **สำโรง สรรพคุณและประโยชน์ของต้นสำโรง 20 ข้อ !** สืบค้นเมื่อ 14 มิถุนายน 2565, จาก https://medthai.com/สำโรง/.

[2] ธนิตน์ เรืองรุ่งชัยกุล. (2552). **การศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะของถ่านไม้และสารก่อมะเร็งในถ่านไม้จากเตาเผาถ่าน 200 ลิตรและเตาเผาถ่านดั้งเดิม**. รายงายวิจัยฉบับสมบูรณ์ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[3] สิริณ บุนนาค และธัญพิสิษฐ์ พวงจิก. (2561). **คุณภาพด้านพลังงานของไม้ไผ่กิมซุง (*Bambusa Beecheyana*) ที่อายุการเติบโตต่างกัน** สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2565, จาก https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjst/article/view/186044/130737.

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **ชีวมวล** สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2565, จาก http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html.

[5] นุวัติ พิมพะบุตร, อนุสรณ์ ชัยยะ และ สายไหม ชาวกล้า. (2563). ผลของชนิดเนื้อไม้ต่อลักษณะเฉพาะอุณหภูมิเผาไหม้และคุณสมบัติของถ่านที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอุณหภูมิสูง. **วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์**. 12 (16), 50-60.

[6] พนิตา สุมานะตระกูล, จตุพร แก้วอ่อน, ปาริชาติ เทพทอง และพลากร บุญใส. (2555). **การเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาเพื่อผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไผ่ตงลืมแล้ง**. รายงายวิจัยฉบับสมบูรณ์ : มหาวิทยาลัยทักษิณ.