เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมัน (CNSL) โดยใช้วิธีการเผาถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า

Briquette Fuel from Waste Cashew Nut Shell after Oil Extraction of Cashew Nut Shell Liquid by Slow Pyrolysis

ไพโรจน์ นะเที่ยง*

Pairote Nathiang*

ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อุตรดิตถ์ 53000

Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology,

Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000

*Corresponding author: E-mail address: Pairote.n@gmail.com

Received: 26 September 2022, Revised: 1 November 2022, Accepted: 11 November 2022, Published online: 30 December 2022

Abstract

This research aims to create briquette fuel from discarded cashew nut shells after oil extraction from Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) using slow pyrolysis. Finely ground cashew nut powder, 10 kilograms per kilogram of tapioca starch, and 3 liters of water are all in the mixture. A cold screw press is utilized to compress the charcoal briquettes. The results show that using 500 g of briquette fuel and boiling 1,500 g of water to the boiling point demonstrates the effectiveness of cladding. The researchers discovered that charcoal briquettes made from discarded cashew nut shells had a work value of 1.52 g and a burning rate of 10.41 g/min. Charcoal has an excellent ignition level. The fire didn't make much smoke, and there was no soot on the container after the experiment.

Keywords: Briquette Fuel, Waste Cashew Nut, Cashew Nut Shell, Slow Pyrolysis

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเชื้อเพลิงจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งหลังกระบวนการสกัดน้ำมัน (CNSL) ด้วยการใช้วิธีการเตรียมผงถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้าแล้วนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งแบบอัดเย็นด้วยการใช้เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) มีส่วนผสมประกอบด้วย ผงถ่านเปลือกมะม่วงหิมพานต์บดละเอียด 10 กิโลกรัมต่อแป้งมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัม และน้ำ 3 ลิตร ผลการจากศึกษาประสิทธิภาพในการหุ้มต้มโดยใช้เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งปริมาณ 500 กรัม ต้มน้ำในปริมาตร 1,500 กรัม ให้ถึงจุดเดือด พบว่าเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์ให้ค่างานอยู่ที่ 1.52 กรัม โดยมีอัตราการเผาไหม้ 10.41 กรัม/นาที ซึ่งในระหว่างการติดไฟไม่พบการแตกปะทุของถ่านตลอดระยะเวลาการใช้งาน ถ่านมีอัตราการติดไฟอยู่ในระดับที่ดีมาก ปริมาณควันจากการเผาไหม้มีเล็กน้อยและไม่มีคราบเขม่าติดภาชนะหลังจากการทดลอง

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดแท่ง เศษเหลือทิ้งจากการแปรรูป เปลือกมะม่วงหิมพานต์ กระบวนการไพโรไลซิส

บทนำ

ชีวมวล (Biomass) คือ วัสดุที่ได้จากธรรมชาติซึ่งอาจเป็นสิ่งมีชีวิตหรือส่วนประกอบของธรรมชาติรวมทั้งสิ่งเหลือทิ้งจากสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างทดแทนได้ ชีวมวลที่นำไปแปรรูปเป็นพลังงานส่วนใหญ่เป็นพืชหรือส่วนประกอบของพืช โดยพืชจะนำ CO_2 ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อผลิตก๊าซออกซิเจน (O_2) ดังนั้น เมื่อนำชีวมวลที่ได้จากพืชมาใช้ในการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงโดยการนำไปเผาจึงทำให้ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 เพิ่มสู่ชั้นบรรยากาศ [1] จากการประเมินศักยภาพชีวมวลจากเศษวัสดุทางการเกษตรในประเทศไทยในปี พ.ศ.2561 โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้จำแนกชนิดของชีวมวลออกเป็นชีวมวลที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เช่น กากอ้อย แกลบ ใยปาล์มและทะลายปาล์มฯลฯ และชีวมวลที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่เพาะปลูกจะเกิดจากชีวมวลที่เหลือภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต เช่น เหง้ามันสำปะหลัง ฟางข้าว ใบอ้อย ตอและรากไม้ยางพารา เป็นต้น การนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลนอกจากจะเป็นพลังงานทางเลือกแล้วยังช่วยแก้ปัญหาการกำจัดของเสียและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกรูปแบบหนึ่ง การใช้พลังงานชีวมวลสามารถแยกได้เป็นการใช้โดยตรงโดยนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนและการนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันภาครัฐเองก็ได้ให้ความสำคัญและส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลโดยกำหนดไว้ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) ซึ่งระบุให้ภายในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยจะต้องมีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าด้วยชีวมวลคิดเป็น 1,896 ktoe [2] นอกจากนี้พลังงานจากชีวมวลยังเป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิตลอดวัฏจักรชีวิตมีค่าเท่ากับศูนย์ (Carbon Neutral) ทำให้ไม่ส่งผลต่อภาวะโลกร้อน (Global Warming) พลังงานชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจึงถือเป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมต่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

จังหวัดอุตรดิตถ์เป็นแหล่งเพาะปลูกมะม่วงหิมพานต์แหล่งใหญ่ที่สุดของประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูก 27,286 ไร่ ส่วนใหญ่เป็นการเพาะปลูกแบบอาศัยน้ำฝน ปัจจุบันมะม่วงหิมพานต์ให้ผลผลิตรวม 7,192 ตัน โดยภายหลังการเก็บเกี่ยวมีการกะเทาะเม็ดและแปรรูปในพื้นที่ ซึ่งเมื่อกะเทาะเปลือกหุ้มเมล็ดแล้วจะมีวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปประมาณปีละกว่า 4,000 ตัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี เนื่องจากมีผลผลิตที่เริ่มเก็บเกี่ยวได้แล้วและจากการขยายพื้นที่เพาะปลูกไม่ต่ำกว่าปีละ 2,880-3,120 ตัน [3] โดยปัจจุบันเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปในพื้นที่มีการจัดการโดยการนำมาผ่านกระบวนการบีบอัดเพื่อสกัดเอาน้ำมันที่เรียกว่า Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) ซึ่งมีราคารับซื้อ 50 บาท/กิโลกรัม จึงเป็นแนวทางการจัดการและเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งจากการแปรรูป แต่เนื่องจากหลังการสกัดน้ำมันยังคงมีเศษเปลือกเหลือทิ้งบางส่วนที่ยังคงสกัดน้ำมันไม่หมดเนื่องจากเป็นการสกัดด้วยการบีบอัดทางกลโดยใช้เครื่องแบบเกลียวอัดซึ่งสามารถบีบอัดเอาน้ำมัน (CNSL) จากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ได้เพียง 20-30% [4] ซึ่งเท่ากับว่ากากเศษเปลือกที่เหลืองทิ้งหลังการสกัดยังคงมีน้ำมัน (CNSL) เหลืออยู่ในปริมาณ 70% ซึ่งกากเหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมันในส่วนนี้จะถูกนำไปทิ้งตามที่ทิ้งขยะสาธารณะหรือในบริเวณพื้นที่ว่างเปล่าจึงทำให้เกิดการก่อมลภาวะกับชุมชน เช่น กลิ่นเหม็น ทำลายหน้าดินและแหล่งน้ำ หรือแม้แต่การก่อให้เกิดปัญหาขยะอันตรายต่อคนในชุมชน แต่ก็มีกลุ่มผู้แปรรูปบางรายใช้วิธีการเผาทำลายจึงก่อเกิดมลพิษทางอากาศเนื่องจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์เมื่อได้รับความร้อนสูงประมาณ 80-100 องศาเซลเซียส จะมีสารพิษระเหยและมีกลิ่นฉุนจัดเป็นอันตรายต่อเยื่อหุ้มจมูกและนัยน์ตา จึงทำให้กลุ่มผู้แปรรูปหลายรายเลือกที่จะใช้วิธีการกองทิ้งไว้ให้ย่อยสลายไปตามธรรมชาติ โดยไม่นิยมนำมาทำปุ๋ยหมักเนื่องจากเศษเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ยังมีน้ำมัน (CNSL) หลงเหลืออยู่ซึ่งมีความเป็นกรดรุนแรงและเป็นพิษต่อผิวหนัง [5]

การแก้ปัญหาเศษเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งหลังการแปรรูปที่มีมากกว่าปีละกว่า 4,000 ตัน ให้เป็นสิ่งที่ก่อเกิดมูลค่าและนำไปสู่การใช้ประโยชน์ภายในชุมชนก็คือการนำมาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งการแปรสภาพของชีวมวลให้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดต้นทุนด้านพลังงานของชุมชน อีกทั้งสามารถลดปัญหามลภาวะที่เกิดกับสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นการนำเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งหลังการแปรรูปมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านพลังงานเชื้อเพลิงจึงเป็นแนวทางที่เป็นไปได้ และสามารถลดผลกระทบจากปัญหาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่เป็นอันตรายทั้งต่อคนและสภาพแวดล้อมของชุมชน อีกทั้งยังจะก่อให้เกิดการสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานและเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนได้อีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและทดสอบประสิทธิภาพด้านการใช้งานเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งที่ใช้วิธีการเตรียมผงถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า

2. เพื่อประเมินต้นทุนและอัตราผลตอบแทนเมื่อดำเนินการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์เชิงพาณิชย์ในระดับธุรกิจชุมชน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีแบบย้อนกลับไม่ได้ที่ทำให้ชีวมวลเกิดการแตกตัวทางความร้อนในระบบที่ไร้ออกซิเจน โดยเป็นกระบวนการที่ทำให้สารประกอบอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว (Chain) แตกออกเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงหรือเป็นสายโซ่ที่สั้นลง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นสารประกอบที่มีคุณค่ามากขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ ของแข็ง (ถ่านชีวภาพ) ของเหลว (น้ำมันชีวภาพ) และแก๊ส โดยกระบวนการไพโรไลซิสจะเกิดที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 300-700 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการไพโรไลซิสโดยทั่วไปจะเป็นดังต่อไปนี้ [6]

ปฏิกิริยามูลฐาน

สารอินทรีย์/ชีวมวล $\xrightarrow[\text{ปราศจากออกซิเจน}]{\text{ความร้อน}}$ แก๊ส+ของเหลว +ถ่านชีวภาพ (1)

ปฏิกิริยารอง

$C0_2 + H_2O$	$\longleftrightarrow$	$CO + H_2$ + ความร้อน	(2)
$C + H_2O$	$\longleftrightarrow$	$CO + H_2$ – ความร้อน	(3)
$C + CO_2$	$\longleftrightarrow$	2CO - ความร้อน	(4)
$C + O_2$	$\longleftrightarrow$	CO_2 + ความร้อน	(5)
$C + 2H_2$	$\longleftrightarrow$	CH_4 + ความร้อน	(6)

กลไกการเกิดไพโรไลซิส (Pyrolysis mechanisms) สามารถแบ่งประเภทออกตามอัตราการให้ความร้อนแก่ชีวมวลได้ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis) และกระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็ว (Fast Pyrolysis) โดยทั้งสองกระบวนการนี้มีผลต่อการแตกตัวของโครงสร้างที่ซับซ้อนของชีวมวลและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ [7]

1) กระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis) คือ การถ่ายเทความร้อนให้แก่ชีวมวลอย่างช้าๆ อุณหภูมิการไพโรไลซิสอยู่ในช่วง 400 - 600 องศาเซลเซียส และอัตราการให้ความร้อนไม่เกิน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที รักษาอุณหภูมิการไพโรไลซิสมากกว่า 5 นาทีขึ้นไป (ภาพที่ 1) โดยลำดับการเกิดปฏิกริยาไพโรไลซิสแบบช้าที่เกิดขึ้นในระบบสามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้ [8]

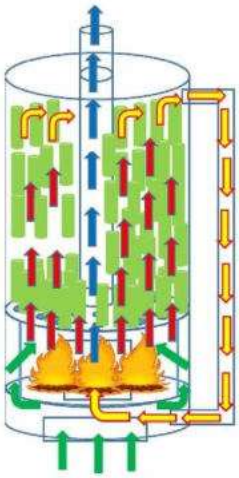
ณ อุณหภูมิ 20 - 100 องศาเซลเซียส ชีวมวลจะดูดซับความร้อน ความชื้นภายในชีวมวลจะถูกขับออกกลายเป็นไอน้ำจนชีวมวลแห้งสนิท

ณ อุณหภูมิ 100 - 250 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของชีวมวลทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและกรดอะซิติก

ณ อุณหภูมิ 250 - 500 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกริยิการสลายตัวของชีวมวลทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน รวมถึงของเหลวทาร์ (Liquid Tar)

ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสขึ้นไป เกิดปฏิกริยาที่ทำให้ได้ถ่านชีวภาพ (Biochar)

2) กระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็ว (Fast Pyrolysis) เป็นกระบวนการให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิไพโรไลซิส 600 -1,000 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนในช่วง 10 – 100 องศาเซลเซียสต่อวินาที รักษาอุณหภูมิการไพโรไลซิสในช่วงระยะสั้นๆ กระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วมักได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวสูง



ภาพที่ 1 กระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis)

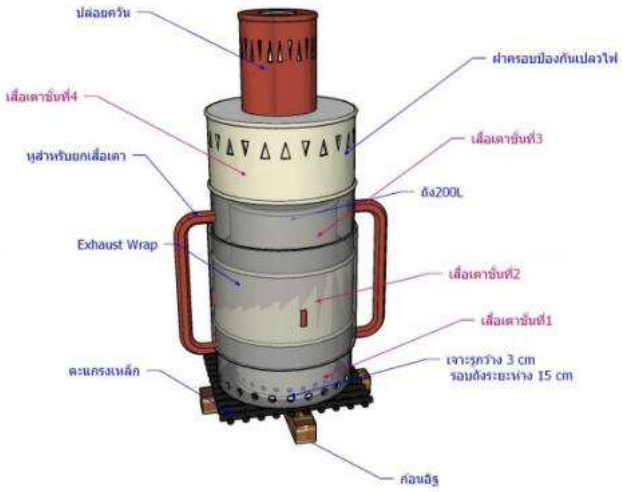
วิธีการวิจัย

สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ในงานวิจัยนี้เป็นการนำเศษกากที่เหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดเอาน้ำมัน (CNSL) ที่ใช้การสกัดด้วยการบีดอัดทางกลโดยใช้เครื่องแบบเกลียวอัด (Screw Press) โดยกากเศษเปลือกเหลือทิ้งหลังการสกัดยังคงมีน้ำมัน (CNSL) เหลืออยู่ในปริมาณ 70% การนำเศษกากนี้มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเตรียมถ่านจากเศษกากเปลือกมะม่วงหิมพานต์เพื่อนำไปเป็นวัสดุสำหรับผลิตถ่านอัดแท่ง เริ่มจากการนำเศษกากเปลือกมะมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งหลังการสกัดเอาน้ำมัน Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) (ภาพที่ 2) นำมาเผาให้เป็นถ่านโดยใช้กระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis) โดยการถ่ายเทความร้อนให้แก่ชีวมวลอย่างช้าๆ อุณหภูมิการไพโรไลซิสอยู่ในช่วง 400 - 600 องศาเซลเซียส และอัตราการให้ความร้อนไม่เกิน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที แล้วปล่อยให้เย็นตัวจะได้ถ่านชีวภาพ (Biochar) จากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่ในลักษณะของคาร์บอนคงรูป (Fixed Carbon) (ภาพที่ 3)

ภาพที่ 2 กากเศษเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมัน (CNSL)

ภาพที่ 3 ถ่านเปลือกมะมะม่วงหิมพานต์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis)



ภาพที่ 4 เตาเผาถ่านด้วยหลักการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis)

2. การผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษกากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดเอาน้ำมัน (CNSL) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1) นำถ่านเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่เผาได้จากกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis) มาบดด้วยเครื่องบดจนได้ผงถ่านละเอียด

2.2) ทำการผสมส่วนผสมต่าง ๆ ที่นำมาใช้ตามสูตรที่กำหนด โดยส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ ผงถ่านเปลือกมะม่วงหิมพานต์บดละเอียด 10 กิโลกรัม ต่อแป้งมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัม และน้ำ 3 ลิตร [9]

2.3) ทำการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์ ด้วยการใช้เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) ซึ่งเป็นการผลิตถ่านอัดแท่งแบบอัดเย็นตามส่วนผสมที่ได้กำหนดไว้จนได้ถ่านอัดแท่งที่มีค่าความชื้นเฉลี่ย 40 % มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 654 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (ภาพที่ 5) โดยมีอัตรากำลังการผลิตเฉลี่ย 60 กิโลกรัม/ชั่วโมง หรือในระยะเวลา 8 ชั่วโมงการทำงานจะสามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้ในอัตราเฉลี่ย 480 กิโลกรัม/วัน (ตารางที่ 1)

ภาพที่ 5 ถ่านอัดแท่งที่ผลิตด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press)

ตารางที่ 1 กำลังการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press)

ครั้งที่	อัตราส่วนผสม			ร้อยละของค่าความชื้น	ค่าความหนาแน่น (ก.ก./ลบ.ม.)	ปริมาณการอัด (ก.ก./ชั่วโมง)
	ผงถ่านฯ (ก.ก.)	ผงแป้งมัน (ก.ก.)	น้ำ (ลิตร)			
1	10	1	3	40	654.31	59.96
2	10	1	3	42	653.78	60.03
3	10	1	3	40	655.02	60.06
4	10	1	3	41	654.45	59.97
5	10	1	3	41	655.10	60.07
	เฉลี่ย			**40.80**	**654.53**	**60.01**

3. ต้นทุนค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อทำการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลังขนาด 10.4 แอมแปร์ โดยในขณะที่เครื่องทำงานมีอัตราการใช้กระแสไฟฟ้า 3.4 แอมป์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เมื่อคำนวณแล้วพบว่ามีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้า 0.748 กิโลวัตต์/ชั่วโมง จึงทำให้เกิดต้นทุนค่าไฟฟ้าเมื่อใช้งานในเวลา 1 ชั่วโมง (1.78 บาท/ชั่วโมง) ซึ่งเมื่อใช้งาน 1 วัน หรือ 8 ชั่วโมง (14.45 บาท/วัน) และเมื่อใช้งานเป็นระยะเวลา 1 เดือน หรือ 30 วัน จะมีต้นทุนค่าไฟฟ้า (623.58 บาท/เดือน)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การประเมินคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมัน ผู้วิจัยใช้การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานโดยการนำแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมันที่ตากแดดจนแห้งสนิทมาศึกษาประสิทธิภาพในการหุงต้ม โดยการทดสอบกับการต้มน้ำด้วยหม้ออลูมิเนียมเบอร์ 20 พร้อมกับฝาปิด และเตาหุงต้มโดยใช้น้ำในปริมาตร 1,500 กรัม (ปริมาตรของน้ำคิดเป็น ¾ ของปริมาณความจุของหม้อ) และนำแท่งเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งปริมาณ 500 กรัม มาทำการทดสอบ เพื่อสังเกตการณ์ประทุของถ่าน ปริมาณควันของถ่านขณะที่ติดไฟ จับเวลาและวัดอุณหภูมิของน้ำจนถึงจุดเดือด (ภาพที่ 6-9) แล้วบันทึกเวลาที่ใช้ไปพร้อมกับเปิดฝาหม้อ จากนั้นปล่อยให้น้ำเดือดต่อไปอีก 30 นาที [10]

ภาพที่ 6 ลักษณะเริ่มจุดติดไฟ

ภาพที่ 7 หลังจากหลังจากติดไฟแล้ว 15 นาที

ภาพที่ 8 ถ่านที่ติดไฟและให้ความร้อนเต็มที่

ภาพที่ 9 ถ่านที่เริ่มมอดไฟ (หลังการเผาไหม้)

1. ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมัน (CNSL) จากสูตรการคำนวณดังนี้

1.1) ค่างานที่ได้ = น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป / น้ำหนักของถ่านที่ใช้สุทธิ

เมื่อแทนค่า = 760.34 (กรัม) / 500 (กรัม) = 1.52 กรัม

1.2) อัตราการเผาไหม้ = น้ำหนักของถ่านที่ใช้สุทธิ (กรัม) / ระยะเวลาที่ใช้ไปทั้งหมด (นาที)

เมื่อแทนค่า = 500 / 48 = 10.41 กรัม/นาที

สรุปผลจากประเมินคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากเศษกากเปลือกมะม่วงหิมพานต์สามารถทำให้น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไปเฉลี่ย 760.34 กรัม น้ำหนักถ่านที่ใช้สุทธิเฉลี่ย 500 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ต้มน้ำจนเดือดเฉลี่ย 14.5 นาที ระยะเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดเฉลี่ย 44.5 นาที ค่าอุณหภูมิของน้ำก่อนตั้งไฟเฉลี่ย 32 ℃ ค่างานที่ทำได้เฉลี่ย 1.52 อัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 10.41 กรัม/นาที ไม่มีการแตกประทุของถ่าน การติดไฟอยู่ในระดับที่ดีมาก ควันที่เกิดขึ้นขณะเผาไหม้มีบางเล็กน้อยและไม่มีเขม่าขณะเผาไหม้ ซึ่งสอดคล้องกับ [11] ที่พบว่าเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟืนและถ่านไม้จากธรรมชาติ อีกทั้งสามารถใช้งานได้ดี ไม่แตกประทุ ติดไฟได้ดีมาก ให้ค่าความร้อนสูงจึงเหมำหรับการนำมาเป็นพลังงานเชื้อเพลิงในครัวเรือน ชุมชน หรือผลิตเพื่อการค้าเชิงอุตสาหกรรมอย่างดียิ่ง และยังสอดคล้องกับ [12] ซึ่งได้นำเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์มาทำเป็นแท่งเชื้อเพลิงเขียวโดยการผสมขี้วัว ขี้เลื่อย และแกลบจากข้าวสาลี ในอัตราส่วน 55 : 25 : 10 : 10 ตามลำดับ พบว่า สามารถนำใช้มาเป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มในภาคครัวเรือนอีกทั้งพัฒนาผลิตในเชิงอุตสาหกรรมได้อย่างดียิ่งเนื่องจากมีอัตราการให้ความร้อนที่สูงและต่อเนื่อง

2. ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ในปริมาณ 1 กิโลกรัม สามารถคำนวณได้ดังนี้

1) ค่าวัตถุดิบเปลือกมะม่วงหิมพานต์ดิบ 10 กิโลกรัม x 0.5 บาท = 5 บาท (เผาถ่านได้ในปริมาณ 2.5 กิโลกรัม คิดเป็นผลผลิตร้อยละ 25)

2) ค่าไฟฟ้าในการเดินระบบของเครื่องอัดแท่ง 1.78 บาท/ชั่วโมง (ประสิทธิภาพการผลิตถ่านได้ 15 กิโลกรัม/ชั่วโมง เมื่อคิดต้นทุนค่าไฟฟ้าต่อการผลิตถ่าน 1 กิโลกรัม = 1.78 /15 = 0.11 บาทต่อกิโลกรัม

3) ค่าแรงในการอัดแท่ง = 3 บาท/กิโลกรัม

รวมต้นทุนในการผลิต (1+2+3) = 8.11 บาท/กิโลกรัม ซึ่งถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายโดยทั่วไปจะมีราคาขายที่กิโลกรัมละ 12 บาท ดังนั้นหากมีการผลิตเพื่อจำหน่ายผู้ผลิตจะมีกำไรเมื่อหักต้นทุนการผลิต (ราคาขาย-ต้นทุนรวมการผลิต) 12 - 8.11 บาท ดังนั้นเท่ากับว่าจะมีกำไร 3.89 บาท/กิโลกรัม เมื่อทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนโดยการอาศัยข้อมูลอัตรากำลังการผลิตของเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีอัตราผลิต 60 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยทำงานวันละ 8 ชั่วโมง เฉลี่ย 6 วัน/สัปดาห์ หรือประมาณ 2,500 ชั่วโมง/ปี มีกำลังการผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่ง 37,500 กิโลกรัม/ปี โดยเมื่อคิดรายละเอียดการลงทุนและผลต่อแทนในการผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งจะต้องใช้เงินลงทุนสุทธิเท่ากับ 96,300 บาท และมีค่าใช้จ่ายรวมค่าใช้จ่ายต่อปี 244,982 บาท โดยผู้ผลิตจะมีรายได้ต่อปีจาการขายถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้เท่ากับ 450,000 บาท/ปี เมื่อหักค่าใช้จ่ายจากลงทุนแล้วจะมีรายได้สุทธิ เท่ากับ 205,018 บาท/ปี (ตารางที่ 2) โดยเมื่อคิดระยะเวลาในการคืนทุนจาก (เงินลงทุนสุทธิ/รายได้สุทธิต่อปี) จะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 0.46 ปี หรือ 5.6 เดือน

ตารางที่ 2 รายละเอียดการลงทุนและผลต่อแทนการผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์

ค่าใช้จ่ายคงที่		**ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบการผลิตถ่านอัดแท่งต่อปี**	
เงินลงทุน	จำนวนเงิน (บาท)	**รายการค่าใช้จ่าย**	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าก่อสร้างโรงเรือน	40,000	ค่าวัตถุดิบ	100,000
ค่าเครื่องถ่านอัดแท่ง	30,000	ค่าไฟฟ้าต่อเดือน (623.58 x12)	7,482
ค่าเครื่องผสม	20,000	ค่าแรงงาน	112,500
ค่าภาษีร้อยละ 7	6,300	ค่าซ่อมบำรุง	15,000
		ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด	10,000
		รวมค่าใช้จ่ายต่อปี	**244,982**
		รายได้ต่อปี จากการขายถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้ 37,500 กิโลกรัม/ปี (ราคา 12 บาท/กิโลกรัม)	450,000
เงินลงทุนสุทธิ	**96,300**	**รายได้สุทธิต่อปี**	**205,018**

สรุปผลการวิจัย

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมัน (CNSL) โดยใช้วิธีการเตรียมผงถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis) สามารถผลิตถ่านเปลือกมะม่วงหิมพานต์ในรูปแบบของคาร์บอนเสถียรที่มีความบริสุทธิ์สูง เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับผลิตถ่านอัดแท่งแบบอัดเย็นที่มีคุณสมบัติสามารถทำให้น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไปเฉลี่ย 760.34 กรัม น้ำหนักถ่านที่ใช้สุทธิเฉลี่ย 500 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ต้มน้ำจนเดือดเฉลี่ย 14.5 นาที ระยะเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดเฉลี่ย 44.5 นาที ค่าอุณหภูมิของน้ำก่อนตั้งไฟเฉลี่ย32 °C ค่างานที่ทำได้เฉลี่ย 1.52 อัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 10.41 กรัม/นาที ไม่มีการแตกประทุของถ่าน การติดไฟอยู่ในระดับที่ดีมาก ควันที่เกิดขึ้นขณะเผาไหม้มีบางเล็กน้อยและไม่มีเขม่าขณะเผาไหม้ และเมื่อทำการประเมินต้นทุนและอัตราผลตอบแทนการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์เชิงพาณิชย์ในระดับธุรกิจชุมชน จะทำให้ผู้ผลิตมีรายได้เมื่อหักค่าใช้จ่ายจากลงทุนสุทธิเท่ากับ 205,018 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ 0.46 ปี หรือ 5.6 เดือน ซึ่งในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการศึกษาถึงปริมาณน้ำมัน (CNSL) ที่แยกออกมาได้จากกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis) ในขั้นตอนของการสลายตัวของชีวมวลที่อุณหภูมิ 100 - 250 องศาเซลเซียส และหาแนวทางการใช้ประโยชน์ อีกทั้งควรมีการศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนให้กับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์โดยการผสมผงถ่านจากชีวมวลชนิดอื่นๆ ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านกะลาตาล ถ่านไม้ไผ่ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) อธิการบดีและคณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่สนับสนุนงานวิจัยอย่างจริงจังและต่อเนื่องมาโดยตลอด และกลุ่มเครือข่ายวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์มะม่วงหิมพานต์ อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ ที่ให้ความร่วมมือ เอื้อเฟื้อสถานที่และสละเวลาในการให้ข้อมูลต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Laohalidanond, K. (2007). **The production of synthetic diesel from biomass**. CMU. J. Nat. Sci., vol. 6, no.1, pp. 127-139.

[2] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2012).**แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี พ.ศ. 2555-2564)**, กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 15 น.

[3] พิทักษ์ คล้ายชม กันต์ อินทุวงศ์ และไพโรจน์ นะเที่ยง. (2016).**การถ่ายทอดเทคโนโลยีการสกัดน้ำมันเพื่อเพิ่มมูลค่าเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูป ด้วยรูปแบบการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วม** (รายงานวิจัย). อุตรดิตถ์: คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.

[4] ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2015). **การใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปของกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เม็ดมะม่วงหิมพานต์ อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์** (รายงานวิจัย). อุตรดิตถ์: คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.

[5] Andonaba, J.-B., S.S. Lompo, V. Ouédraogo, F. Ouédraogo, M.S. Ouédraogo, I. Konaté, B. Diallo and A. Traoré. (2017). **Skin damage and aesthetic disadvantage observed in women in the hand craft shelling chain of cashew nuts in a factory to Bobo-Dioulasso**, Burkina Faso. Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Applications 7: 211-220.

[6] Thomas,P and Wampler,B. (1995). **Applied Pyrolysis Handbook**, Marcel Dekker,Inc.,New York, pp.2-10

[7] ชนิดา มฤคทัต. (2007). **การแปรสภาพกากสบู่ดำโดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบชั้นเบดนิ่ง**, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิงแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิงแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[8] Beenackers, A.A.C.M. (1993). **Biomass gasification: implementation and research in Europe**, Int. Journal Solar Energy Vol. 3:249-260.

[9] ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2013). **ส่วนผสมสำหรับการผลิตถ่านอัดแท่ง**, (เอกสารอัดสำเนา)

[10] จีระพงษ์ คูหากาญจน์. (2007). ศักยภาพทางด้านพลังงานถ่านของรากยางพารา, ใน **การสัมมนาทางวัฒนาวิทยาครั้งที่ 8** เทคโนโลยีวนวัฒน์เพื่อขจัดความยากจน กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ส่งนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ

[11] สังเวย เสวกวิหารี, วันดี มาตสถิตย์ และนิภาพร ปัญญา. (2010). **พลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์**, งานวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[12] A.G. Mohod, Y.P. Khandetod and A.G. Power. (2008). **Processed cashew shell waste as fuel supplement for heat generation**. Energy for Sustainable Development. Volume XII,4,73-76.