

พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว

Community-Based Renewable Energy from Biomass Briquettes Fuel from Coconut Leaf

ธนาพล ตันติสตัยกุล*, สุริฉาย พงษ์เกษม, ปรีย์ปวีณ ภูญา

และภานุวัฒน์ ไถบ้านกวย

ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Thanapol Tantisattayakul*, Surichai Phongkasem, Preepaween Phooyar

and Panuwat Taibangury

Department of Rural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำทางมะพร้าวมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนในชุมชน โดยศึกษาความเหมาะสมทางเทคนิค คือ สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการบริหารจัดการโดยชุมชน ในทางปฏิบัติ แท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ เป็นตัวประสาน อัดขึ้นรูปด้วยวิธีอัดเย็นและได้ทำการทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 2,865-4,185 แคลอรี/กรัม และมีประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อนอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 8.55-13.36 ค่าความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 7.25-23.40, 67.62-76.31, 3.33-5.28 และ 2.26-10.71 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมที่ให้คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด คือ ทางมะพร้าว 1 กิโลกรัม ต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง 1.25 ลิตร การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 15.6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 48,178 บาท และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 5 ปี 1 เดือน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน โดยปัจจัยที่เป็นความเสี่ยงในการบริหารจัดการและมีผลต่อผลตอบแทนของโครงการมากที่สุด คือ ราคาเชื้อเพลิง และจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวัน รองลงมา คือ ค่าแรงคนงาน จำนวนวันที่ผลิต และราคาเครื่องจักร ตามลำดับ

คำสำคัญ : พลังงานทดแทน; เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง; ทางมะพร้าว

*ผู้รับผิดชอบบทความ : thanapolosk@hotmail.com

Abstract

The objective of this research is to study the technical and economic feasibility of biomass briquette production from dried coconut leaf in order to use as alternative energy in communities. The biomass briquette in this research was produced by cold-press technique mixing with tapioca starch at different ratios. The fuel properties of briquette were analyzed according to ASTM standards. The test results showed that the heating value of the briquette is in the range between 2,865-4,185 cal/g and the heat utilization efficiency is in the range between 8.55-13.36 %. The moisture, volatile, ash, and fixed carbon content are 7.25-23.40, 67.62-76.31, 3.33-5.28, and 2.26-10.71 %, respectively. The ratio with the best fuel property is coconut leaf 1 kg : tapioca flour water 1.25 liter. The economic feasibility of briquette production was analyzed using net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and payback period (PB). The analysis results show that the production of biomass briquettes from coconut is economically feasible with NPV = 15.6 %, NPV = 48,178 THB, and payback period = 5 years and 1 month. Moreover, the sensitivity analysis results show that the most influential risk factors of the briquette production are fuel price and number of fuel produced daily, followed by labor wages, number of production days a year, and price of machines, respectively.

Keywords: renewable energy; briquette; coconut leaf

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยแหล่งพลังงานในประเทศไทยมีอัตราการผลิตไม่เพียงพอกับอัตราการใช้ จำเป็นต้องมีการนำเข้าพลังงานอย่างต่อเนื่อง [1] ในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งสิ้น 75,214 ktoe โดยในปีนี้ประกอบด้วยการใช้พลังงานจากพลังงานทดแทนดั้งเดิม (ฟืนไม้และแกลบ) ในครัวเรือนรวมทั้งสิ้น 6,244 ktoe [2] เชื้อเพลิงประเภทฟืนไม้เป็นสาเหตุทำให้ทรัพยากรป่าไม้ลดลงซึ่งกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีการหาแหล่งพลังงานอย่างอื่นมาใช้ทดแทนเพื่อลดปัญหาดังกล่าว แหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถหาได้ง่ายและประเทศไทยมีศักยภาพสูง คือ พลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร [3] การนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมา

ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลนอกจากจะเป็นพลังงานทางเลือกแล้วยังช่วยแก้ปัญหาการกำจัดของเสียและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกรูปแบบหนึ่ง รูปแบบการใช้พลังงานชีวมวลสามารถแยกได้เป็นการใช้โดยตรงโดยนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนและการนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป ภาครัฐเองก็ได้ให้ความสำคัญและส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลโดยกำหนดไว้ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021) ซึ่งระบุให้ภายในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยจะต้องมีส่วนร่วมการผลิตไฟฟ้าด้วยชีวมวลคิดเป็น 1,896 ktoe [4] นอกจากนี้พลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิตลอดวัฏจักร

ชีวิตของมันมีค่าเท่ากับศูนย์ (carbon neutral) ทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน (global warming) พลังงานชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจึงเป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมต่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ได้มีการทดลองนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง ได้แก่ กิ่งสับดำ [5] เปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด [6] ต้นไมยราบยักษ์ [7] กะลามะพร้าว [8] ชี้นำกลบผสมขี้ข้าวโพดและกะลามะพร้าว [9] ตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอลผสมชีวมวล (เปลือกมังคุด เปลือกทุเรียน และกะลามะพร้าว) [10] เป็นต้น ซึ่งเชื้อเพลิงที่ได้มีสมบัติสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนไม้ได้เป็นอย่างดี

งานวิจัยนี้ได้ทดลองนำทางมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง เพื่อใช้เป็นพลังงานความร้อนทดแทนการใช้ถ่านไม้ ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงจากท้องตลาด ประเทศไทยมีการปลูกพื้นที่การปลูกมะพร้าวมากและวัสดุเหลือทิ้งจากต้นมะพร้าวมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล [4,11] วิธีนี้นอกจากจะช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมแล้วยังเป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในชุมชนและเป็นการเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุเหลือใช้ อีกทั้งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งก็ยังถือเป็นพลังงานทางเลือกและพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนอีกด้วย

2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการอัดแท่งเชื้อเพลิง ขั้นตอนการวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง และขั้นตอนการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากทางมะพร้าว แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.1 การอัดแท่งเชื้อเพลิง

การอัดแท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ใช้วิธีอัดเย็น โดยใช้แ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน เนื่องจากแ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่มีค่าความร้อนสูงและสามารถยึดเกาะวัสดุให้เป็นเนื้อเดียวและเพิ่มสมบัติทางกายภาพได้ดี [12] ขั้นตอนการอัดแท่งเชื้อเพลิงเป็นดังต่อไปนี้

2.1.1 เตรียมทางมะพร้าวแห้งจากสวนของเกษตรกรที่เหลือทิ้ง จากนั้นนำทางมะพร้าวแห้งมาเข้าเครื่องย่อยผ่านตะแกรงขนาด 1.8 มิลลิเมตร และเก็บทางมะพร้าวที่ย่อยบรรจุใส่กระสอบ โดยไม่ให้โดนน้ำหรือความชื้น

2.1.2 เตรียมตัวประสานน้ำแ่งมันสำปะหลัง โดยเตรียมแ่งมันสำปะหลังและน้ำในสัดส่วน แ่งมันสำปะหลัง 50 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร มาให้ความร้อน และกวนจนมีลักษณะเหนียวขึ้นเป็นแป้งเปียก งานวิจัยนี้ได้มีการจัดรูปแบบการอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบใช้ตัวประสาน โดยใช้อัตราส่วนผสมของทางมะพร้าวต่อน้ำแ่งมันสำปะหลังดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนทางมะพร้าวย่อยต่อน้ำแ่งมันสำปะหลัง

ตัวอย่าง	ทางมะพร้าวย่อย (Kg)	น้ำแ่งมันสำปะหลัง* (ลิตร)
1	1	1.25
2	1	1.50
3	1	1.75
4	1	2.00
5	1	2.25

*น้ำแ่งมันสำปะหลังผสมด้วยสัดส่วน แ่งมันสำปะหลัง 50 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร

2.1.3 นำทางมะพร้าวผสมน้ำแฉะมันสำหรับที่เตรียมไว้ไปอัดแท่ง เป็นแท่งเชื้อเพลิงรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร และตัดแท่งเชื้อเพลิงให้มีความประมาณ 50 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวชนิดไม่มีคลวดความร้อน

2.1.4 นำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ได้ไปผึ่งแดดเพื่อเป็นการลดความชื้นและทำให้เชื้อเพลิงมีความแข็งและประสานกัน โดยวางบนพื้นปูนซีเมนต์กลางแจ้งเพื่อรับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง การผึ่งแดดจะใช้เฉพาะในช่วงที่มีแสงแดดโดยผึ่งแดดตั้งแต่เช้าจนถึงตอนเย็นเมื่อไม่มีแสงแดดก็นำผ้าใบพลาสติกมาคลุมเพื่อกันความชื้นจากน้ำค้างหรือน้ำฝน ใช้เวลาตากแดดประมาณ 10 วัน จึงเก็บใส่ถุงพลาสติกมัดปากถุงให้แน่น

2.2 การวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง

นำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าวไปวิเคราะห์หาสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง โดยวิเคราะห์หาปริมาณต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 ปริมาณความชื้น (moisture content) ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173

2.2.2 ปริมาณเถ้า (ash content) ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174

2.2.3 ปริมาณสารระเหย (volatile matter) ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175

2.2.4 คาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3176

2.2.5 ค่าความร้อน (heating value) ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3286

2.2.6 ประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อน (heat utilization efficiency) โดยทดสอบการ

ให้ความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่เผาไหม้ในเตาประสิทธิภาพสูง โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) เตรียมเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลแต่ละอัตราส่วนผสม อัตราส่วนละ 250 กรัม

(2) เตรียมน้ำ 1,000 กรัม ใส่ลงในหม้ออลูมิเนียม และวัดอุณหภูมิของน้ำก่อนต้ม

(3) ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ให้มีตำแหน่งอยู่ระดับกึ่งกลางระดับน้ำ เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำขณะต้ม

(4) ติดไฟเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งรจนกระทั่งไฟติดเชื้อเพลิงสม่ำเสมอ

(5) นำหม้อน้ำที่เตรียมไว้ขึ้นตั้งบนเตาต้มจนกระทั่งน้ำเดือด บันทึกอุณหภูมิของน้ำขณะเดือด จากนั้นให้ต้มต่อไปอีก 10 นาที แล้วบันทึกอุณหภูมิสุดท้าย

(6) ชั่งน้ำหนักน้ำที่เหลือในหม้อ

(7) คำนวณหาประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$HU = \frac{M_i C_p (T_2 - T_1) + (M_e L)}{MH} \times 100 \quad (\%) \quad (1) \text{ โดย}$$

ที่ HU คือ ประสิทธิภาพ (heat utilization efficiency) (%), M คือ มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (kg), M_i คือ มวลของน้ำเริ่มต้น (kg), M_e คือ มวลของน้ำที่ระเหยไป (kg), C_p คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.184 kJ/kg - °C, T_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (°C), T_2 คือ อุณหภูมิของน้ำเดือด (°C), H คือ ค่าความร้อนของถ่าน และ L คือ ค่าความร้อนแฝงของน้ำ = 2,260 kJ/kg

2.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว

นอกจากการประเมินทางเทคนิคโดยวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าวแล้ว งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ความ

คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าวเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติของชุมชนอย่างยั่งยืน โดยวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการเพื่อประเมินว่าผลประโยชน์ที่ได้จากโครงการเพียงพอกับต้นทุนการลงทุนและการบริหารจัดการหรือไม่ ชุมชนสามารถดำเนินโครงการได้อย่างยั่งยืนหรือไม่ และวิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการเพื่อให้ทราบปัจจัยที่เป็นความเสี่ยงต่อการดำเนินโครงการในทางปฏิบัติ

2.3.1 การวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการ

ตัวชี้วัดผลตอบแทนโครงการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value, NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return, IRR) และระยะเวลาคืนทุน (payback period, PB) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

(1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value, NPV) หมายถึง มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดสุทธิตลอดอายุของโครงการ ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินลงทุนของโครงการ NPV สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$
 โดยที่ n คือ อายุของโครงการ (ปี), t คือ ดัชนีชี้เลขปีในช่วงเวลาของโครงการ (ปี) $t = 1, 2, 3, \dots, n$, CF_t คือ กระแสเงินสดสุทธิของโครงการในปีที่ t เท่ากับ กระแสเงินสดรับในปีที่ t - กระแสเงินสดจ่ายในปีที่ t (บาท) และ i คือ อัตราคิดลดหรืออัตราผลตอบแทนที่ต้องการ (%) ซึ่งมีเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ การลงทุนโครงการให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าเมื่อ $NPV \geq 0$ และไม่คุ้มค่าเมื่อ $NPV < 0$

(2) อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return, IRR) หมายถึง อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด

สุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์ แสดงถึงอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยของโครงการ IRR สามารถคำนวณได้

จากสมการต่อไปนี้ $0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (3)$ โดยที่ n

คือ อายุของโครงการ (ปี), t คือ ดัชนีชี้เลขปีในช่วงเวลาของโครงการ (ปี) $t = 1, 2, 3, \dots, n$, CF_t คือ กระแสเงินสดสุทธิของโครงการในปีที่ t เท่ากับ กระแสเงินสดรับในปีที่ t - กระแสเงินสดจ่ายในปีที่ t (บาท) และ IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายใน (%) ซึ่งมีเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ การลงทุนโครงการให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าเมื่อ $IRR \geq$ ต้นทุนของเงินทุนของโครงการ และไม่คุ้มค่าเมื่อ $IRR <$ ต้นทุนของเงินทุนของโครงการ โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้ต้นทุนเงินลงทุนของโครงการเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์

(3) ระยะเวลาคืนทุน (payback period, PB) หมายถึง ระยะเวลาที่กระแสเงินสดรับสะสมเท่ากับเงินที่ลงทุนไป เป็นตัวชี้วัดที่ใช้บอกสภาพความเสี่ยงของโครงการได้ โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นจะมีความเสี่ยงต่ำกว่าโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนยาว ซึ่งมีเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ จะยอมรับโครงการเมื่อ $PB \leq$ ระยะเวลาคืนทุนเป้าหมาย (target payback period) และไม่ยอมรับโครงการเมื่อ $PB >$ ระยะเวลาคืนทุนเป้าหมาย (target payback period) แสดงว่าการลงทุนของโครงการให้ผลไม่คุ้มค่า

2.3.2 การวิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการ

งานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity analysis) เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวเป็นการศึกษาว่าเมื่อสถานการณ์การดำเนินโครงการไม่เป็นที่คาดการณ์ไว้ มีปัจจัยต่าง ๆ เปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลต่อผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายของโครงการ โครงการนี้จะยังคุ้มค่าที่จะดำเนินการหรือไม่ เป็นการ

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกระแสเงินสดสุทธิ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่าง ๆ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

(1) กำหนดตัวแปรทุกตัวซึ่งมีความไม่แน่นอน

(2) ระบุขอบเขตของข้อมูลที่เป็นไปได้สำหรับตัวแปรแต่ละตัว

(3) คำนวณค่า NPV, IRR และ PB แต่ละกรณี โดยเปลี่ยนค่าของตัวแปรทีละตัวและให้ตัวแปรอื่นคงที่ทั้งหมด ซึ่งจะทำให้เห็นความสัมพันธ์ของ NPV, IRR และ PB กับตัวแปรแต่ละตัว

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ความอ่อนไหวจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบแทนของโครงการ 5 ปัจจัย คือ ราคาเชื้อเพลิง จำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวัน ราคาเครื่องจักร ค่าแรงคนงาน และจำนวนวันที่ผลิตต่อปี

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการอัดแท่งเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงชีวมวลสามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ทุกอัตราส่วนผสมที่แสดงในตารางที่ 1 จากการตรวจสอบด้วยสายตา (visual inspection) พบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีความแน่น ความเหนียวและสามารถคงรูปอยู่ได้ เมื่อทดสอบบีบด้วยมือไม่กระเทาะแตกออกจากกัน รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิง

3.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง

3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง

ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าวแสดงอยู่ในรูปที่ 2 ค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่อัตราส่วนการ

ผสมต่างๆ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.25-23.40, 67.62-76.31, 3.33-5.28 และ 2.26-10.71 % ตามลำดับ โดยอัตราส่วนผสมที่มีค่าคาร์บอนคงตัวสูงที่สุดและความชื้นต่ำที่สุด คือ อัตราส่วนทางมะพร้าว 1 กิโลกรัม : น้ำมันสำปะหลัง 1.25 ลิตร ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 2,865.44-4,185.26 cal/g โดยค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนน้ำแถม้ำมันสำปะหลังลดลง ค่าความร้อนที่ได้อยู่ในระดับเดียวกับฟืนไม้ซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 3,820 cal/g

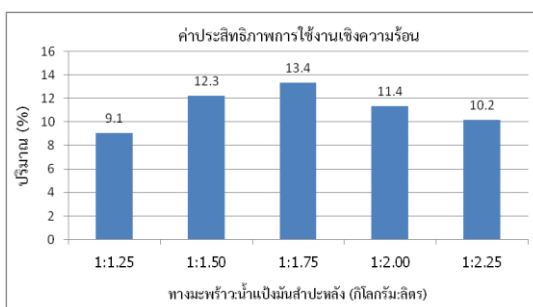
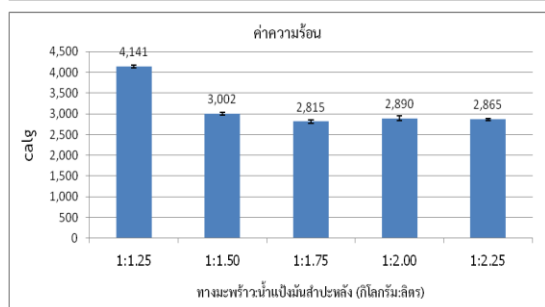
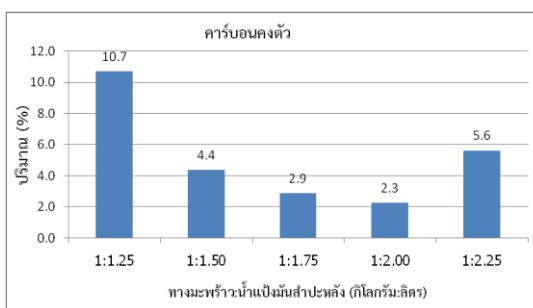
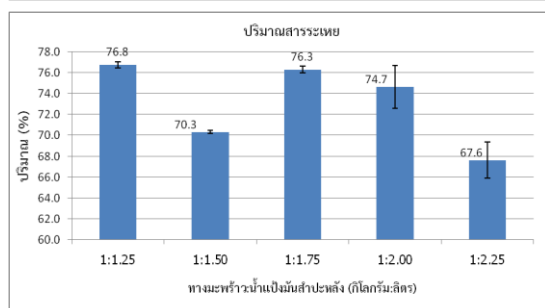
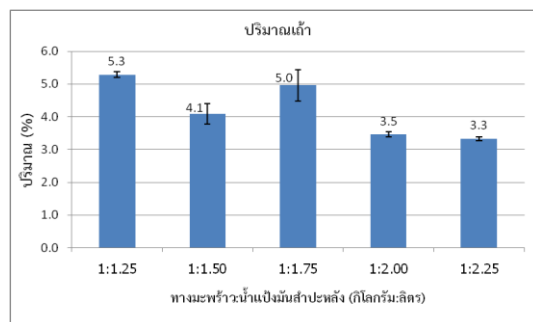
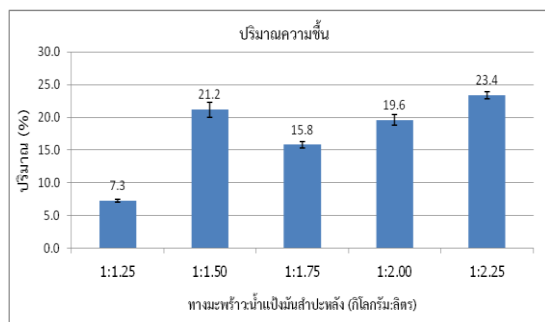


รูปที่ 1 ตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลทางมะพร้าว

[1] จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการต้ม น้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งติดไฟอยู่ระหว่าง 20-30 นาที ระยะเวลาที่มิกลั่นและควันดำอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 2-6 นาทีแรก ของการเผาไหม้ ควันดำและกลิ่นที่เกิดขึ้นมาจากปริมาณสารระเหยที่อยู่ในเชื้อเพลิง และน้ำมันก๊าดที่ใช้เป็นตัวช่วยในการจุดไฟตอนแรก ประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 8.55-13.36 จากผลการวิเคราะห์พบว่าอัตราส่วนผสมที่มีสมบัติด้านเชื้อเพลิงโดยรวมเหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาค่าความร้อน ค่าคาร์บอนคงตัว และปริมาณความชื้น คือ อัตราส่วนทางมะพร้าว 1 กิโลกรัม : น้ำมันสำปะหลัง 1.25 ลิตร โดยอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าความร้อนสูง ค่าคาร์บอนคงตัวสูง และปริมาณความชื้นต่ำ ค่าความร้อนแสดงถึง

พลังงานในแท่งเชื้อเพลิง ดังนั้นเชื้อเพลิงที่ดีควรมีค่านี้สูง ค่าคาร์บอนคงตัวแสดงถึงปริมาณสารประกอบคาร์บอนในเชื้อเพลิงซึ่งเชื้อเพลิงที่มีค่าคาร์บอนคงตัวสูงจะติดไฟได้นาน และปริมาณความชื้นแสดงถึง

ปริมาณของน้ำที่คงเหลือในแท่งเชื้อเพลิงหลังจากการผึ่งแดด ดังนั้นเชื้อเพลิงที่ดีจึงควรมีค่าความชื้นต่ำเพื่อให้ความร้อนไม่สูญเสียไปกับการระเหยของน้ำในแท่งเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้



รูปที่ 2 สมบัติด้านเชื้อเพลิงของตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลทางมะพร้าว

แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากทางมะพร้าวในงานวิจัยนี้เป็นเชื้อเพลิงเขียว ซึ่งไม่ได้ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชัน (carbonization) ให้เป็นถ่าน เพื่อประเมินสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จึงได้เปรียบเทียบสมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้กับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งชนิดที่เป็น

เชื้อเพลิงเขียวจากงานวิจัยอื่น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 ค่าที่แสดงในตารางคือค่าสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมทางมะพร้าว 1 กิโลกรัม ต่อน้ำเป้น้ำสำหรับปลูก 1.25 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติด้านเชื้อเพลิงกับแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากกิ่งสับดำ เปลือกมังคุด และเปลือกทุเรียน พบว่าแท่งเชื้อเพลิงใน

งานวิจัยนี้มีค่าความร้อนอยู่ในระดับเดียวกับแท่งเชื้อเพลิงจากงานวิจัยอื่น โดยมีค่าความร้อนสูงกว่ากรณีของแท่งเชื้อเพลิงจากกิ่งสบู่ดำ และแท่งเชื้อเพลิงจากเปลือกทุเรียนซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 3,671 และ 3,901 แคลอรี/กรัม ตามลำดับ และมีค่าความร้อนต่ำกว่ากรณีของแท่งเชื้อเพลิงจากเปลือกมังคุดซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 4,348 แคลอรี/กรัม เมื่อพิจารณาค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว พบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงจากทางมะพร้าวมีค่าเท่ากับ 10.7 % สูงกว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.77 และ 0.37 % ตามลำดับ ค่าความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงจากทาง

มะพร้าวมีค่าเท่ากับ 7.3 % สูงกว่าค่าความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.65 และ 6.68 % ตามลำดับ อยู่เล็กน้อย ปริมาณสารระเหยของแท่งเชื้อเพลิงจากทางมะพร้าวมีค่าเท่ากับ 76.8 % ต่ำกว่าปริมาณสารระเหยของแท่งเชื้อเพลิงจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนซึ่งมีค่าเท่ากับ 86.55 และ 88.37 % ตามลำดับ ส่วนปริมาณเถ้าของแท่งเชื้อเพลิงจากทางมะพร้าวมีค่าเท่ากับ 5.3 % สูงกว่าปริมาณเถ้าของแท่งเชื้อเพลิงจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.03 และ 4.57 % ตามลำดับ โดยรวมสมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับค่าของแท่งเชื้อเพลิงจากงานวิจัยอื่น

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล

วัสดุ	ค่าความร้อน (cal/g)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณสารระเหย (%)	ปริมาณเถ้า (%)	คาร์บอนคงตัว (%)
ทางมะพร้าว	4,141	7.3	76.8	5.3	10.7
กิ่งสบู่ดำ ¹	3,671	-	-	-	-
เปลือกมังคุด ²	4,348	5.65	86.55	5.03	2.77
เปลือกทุเรียน ²	3,901	6.68	88.37	4.57	0.37
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547)	ไม่น้อยกว่า 5,000	ไม่เกิน 8	-	-	-
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม (มผช. 657/2547)	ไม่น้อยกว่า 6,000	ไม่เกิน 10	ไม่เกิน 25	ไม่เกิน 8	-

¹ เกรียงไกร และคณะ (2554) [5], ² อัจฉรา และคณะ (2554) [6]

นอกจากนี้ ได้เปรียบเทียบสมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลในงานวิจัยนี้กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับถ่านไม้อัดแท่งและ

ถ่านไม้หุงต้ม [5,6] ซึ่งเป็นมาตรฐานที่มีลักษณะใกล้เคียงที่สุด ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 2 อย่างไรก็ตามเนื่องจากโดยปกติถ่านจะมีสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีกว่า

และเหมาะสมกับการใช้งานมากกว่าเชื้อเพลิงเขียว เนื่องจากผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชัน ดังนั้นมาตรฐานสำหรับถ่านจะมีเกณฑ์ที่เข้มงวดกว่าเมื่อนำมาใช้กับเชื้อเพลิงเขียว จากผลการเปรียบเทียบพบว่าแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากทางมะพร้าวมีปริมาณความชื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับถ่านไม้อัดแท่งและถ่านไม้หุงต้ม ซึ่งกำหนดไว้ว่าปริมาณความชื้นต้องไม่เกิน 8 และ 10 % ตามลำดับ ปริมาณเถ้าผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับถ่านไม้หุงต้มซึ่งกำหนดไว้ว่าปริมาณเถ้าต้องไม่เกิน 8 % ปริมาณสารระเหยไม่ผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับถ่านไม้หุงต้มซึ่งกำหนดไว้ว่าปริมาณสาร

ระเหยต้องไม่เกิน 25 % และค่าความร้อนมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับถ่านไม้อัดแท่งและถ่านไม้หุงต้มซึ่งกำหนดไว้ว่าค่าความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 5,000 และ 6,000 cal/g ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงเขียวไม่ได้ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชัน จึงมีปริมาณสารระเหยเหลืออยู่ในแท่งเชื้อเพลิงมาก และค่าความร้อนจะต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับถ่าน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงเขียวด้วยกันแล้วจะพบว่าแท่งเชื้อเพลิงเขียวในงานวิจัยนี้มีค่าความร้อนและปริมาณสารระเหยที่ดีกว่า ดังที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้

ตารางที่ 3 สมมติฐานในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ผลประโยชน์ของโครงการ	- การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าวทดแทนการซื้อเชื้อเพลิงที่ใช้ในครัวเรือนทำให้ประหยัดรายจ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงของครัวเรือน ไม่ได้ผลิตเพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์ - อ้างอิง ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ราคาประมาณ 7 บาท/กิโลกรัม มีค่าความร้อนประมาณ 7,000 cal/g - ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งซึ่งมีค่าความร้อน 4,141 cal/g ในงานวิจัยนี้จะสามารถทดแทนค่าใช้จ่ายเทียบเท่า $= 7 \times 4,141 / 7,000 = 4.141$ บาท/กิโลกรัม
เงินลงทุน	- เครื่องบดวัตถุดิบขนาดราคา 35,000 บาท และ เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวราคา 70,000 บาท กำลังการผลิต 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ค่าใช้จ่าย	- ค่าแรงคนงาน 300 บาท/วัน/คน $\times$ 2 คน = 600 บาท/วัน - ค่าไฟฟ้า = 0.16 บาท/กิโลกรัมแท่งเชื้อเพลิง - ค่าน้ำประปา = 0.0013 บาท/กิโลกรัมแท่งเชื้อเพลิง - ค่าแรงแม่เหล็ก = 0.78 บาท/กิโลกรัมแท่งเชื้อเพลิง
จำนวนแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิต	- 300 กิโลกรัม/วัน
จำนวนวันที่ผลิต	- 52 วัน/ปี (รวบรวมวัตถุดิบในชุมชนและผลิต 1 ครั้งต่อสัปดาห์)
อัตราเงินเฟ้อ	- 3 % (อัตราเงินเฟ้อเฉลี่ยย้อนหลัง 10 ปี) ¹
อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ (อัตราคิดลด)	- ใช้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ = 7% (อ้างอิง MLR (Minimum Loan Rate) ในปัจจุบัน (ต.ค. 2557)
อายุของโครงการ	- 10 ปี

¹ อ้างอิงจากอัตราเงินเฟ้อเฉลี่ยย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2546-2556) [13]

3.3 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งทางมะพร้าวแห้ง ใช้ข้อมูลกรณีแท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนทางมะพร้าว 1 กิโลกรัม ต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง 1.25 ลิตร ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงดีที่สุดมาคำนวณโดยใช้ตัวชี้วัด คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PB) เพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการ และได้วิเคราะห์ความเสี่ยงของการลงทุนด้วยการวิเคราะห์

ความอ่อนไหว (sensitivity analysis) ของผลตอบแทนของโครงการต่อปัจจัยต่าง ๆ

ข้อกำหนดและสมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แสดงอยู่ในตารางที่ 3

เมื่อนำสมมติฐานในตารางที่ 3 มาประมาณรายได้ เงินลงทุน ค่าใช้จ่ายและกระแสเงินสดสุทธิของโครงการตลอดอายุโครงการจะได้ผลดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4 และจากกระแสเงินสดสุทธิของโครงการตลอดอายุโครงการ สามารถคำนวณตัวชี้วัด NPV, IRR และ PB ได้ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ประมาณการกระแสเงินสด (cash flow projection) ของโครงการ

ปี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ผลประโยชน์	4.14 บาท/kg 300 kg/วัน	66,557	68,574	70,651	72,792	74,998	77,270	79,611	82,024	84,509	87,070
รวมรายได้		66,557	68,574	70,651	72,792	74,998	77,270	79,611	82,024	84,509	87,070
ค่าแรงงาน	2.00 บาท/kg	32,145	33,119	34,123	35,157	36,222	37,320	38,450	39,615	40,816	42,052
ค่าไฟ	0.16 บาท/kg	2,518	2,594	2,673	2,754	2,837	2,923	3,012	3,103	3,197	3,294
ค่าทางมะพร้าว	0.00 บาท/kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ค่าแป้งมัน	0.78 บาท/kg	12,557	12,937	13,329	13,733	14,149	14,578	15,020	15,475	15,944	16,427
ค่าน้ำประปา	0.0013 บาท/kg	21	22	22	23	24	24	25	26	27	28
รวมค่าใช้จ่าย	2.94 บาท/kg	47,241	48,673	50,147	51,667	53,232	54,845	56,507	58,219	59,983	61,801
เงินลงทุน											
เครื่องจักรสำหรับย่อย	35,000 บาท	-35,000									
เครื่องอัดแบบเกลียว	70,000 บาท	-70,000									
กระแสเงินสดสุทธิของโครงการ		-105,000	19,316	19,901	20,504	21,125	21,765	22,425	23,104	23,804	24,526

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

NPV	48,178 บาท	NPV > 0 แสดงว่าการลงทุนโครงการมีความคุ้มค่า
IRR	15.6 %	IRR > อัตราดอกเบี้ย 7 % แสดงว่าการลงทุนโครงการมีความคุ้มค่า
PB	5 ปี 1 เดือน	ระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าอายุการใช้งานของเครื่องจักร แสดงว่าโครงการมีความเสี่ยงในระดับที่ยอมรับได้

จากตารางที่ 5 สามารถสรุปได้ว่าการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าวมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากตัวชี้วัดที่ผ่านเกณฑ์ทั้ง 3 ตัวชี้วัด

ผลการวิเคราะห์ความเสี่ยงโดยวิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity analysis) ของผลตอบแทนในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากทางมะพร้าวเมื่อปัจจัยต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปจากที่คาดการณ์ไว้แสดงอยู่ในตารางที่ 6-10 โดยแสดงผลตอบแทนเมื่อราคาเชื้อเพลิง จำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวัน ค่าแรงคนงาน จำนวนวันที่ผลิตต่อปี และราคาเครื่องจักรเปลี่ยนแปลงไปเปรียบเทียบกับผลตอบแทนในกรณีฐาน ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว : ราคาเชื้อเพลิง

ราคาถ่าน (บาท/kg)	IRR	NPV	PB
4.14 (กรณีฐาน)	15.6 %	48,178	5 ปี 1 เดือน
3.93 (-5 %)	11.1 %	21,787	6 ปี 1 เดือน
3.76 (-9 % : กรณีแย่ที่สุดที่ยอมรับได้)	7 %	0	7 ปี 3 เดือน

จากตารางที่ 6 จะพบว่าถ้าราคาเชื้อเพลิงลดลง IRR และ NPV จะลดลง และระยะเวลาคืนทุนจะเพิ่มขึ้น โดยถ้าราคาลดลง 9 % หรือเทียบเท่ากับราคา 3.76 บาท จะเป็นระดับต่ำที่สุดที่ผลตอบแทนยังยอมรับได้ หากราคาต่ำกว่านี้โครงการจะไม่คุ้มค่าที่จะดำเนินการ

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว : จำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวัน

จำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตต่อวัน (kg/วัน)	IRR	NPV	PB
300 (กรณีฐาน)	15.6 %	48,178	5 ปี 1 เดือน
285 (-5 %)	11.1 %	21,787	6 ปี 1 เดือน
273 (-9 % : กรณีแย่ที่สุดที่ยอมรับได้)	7 %	0	7 ปี 3 เดือน

จากตารางที่ 7 จะพบว่าถ้าจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวันลดลง IRR และ NPV จะลดลง และระยะเวลาคืนทุนจะเพิ่มขึ้น โดยถ้าจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวันลดลง 9 % หรือลดลงเหลือ 273 kg/วัน

จะเป็นระดับต่ำที่สุดที่ผลตอบแทนยังยอมรับได้ หากจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่ำกว่านี้ โครงการจะไม่คุ้มค่าที่จะดำเนินการ

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว : ราคาเครื่องจักร

ราคาเครื่องจักร (บาท)	IRR	NPV	PB
105,000 (กรณีฐาน)	15.6 %	48,178	5 ปี 1 เดือน
120,750 (+15 %)	12.2 %	32,428	5 ปี 10 เดือน
136,500 (+30 %)	9.4 %	16,678	6 ปี 6 เดือน
153,179 (+46 % : กรณีแย่ที่สุดที่ยอมรับได้)	7 %	0	7 ปี 3 เดือน

จากตารางที่ 8 จะพบว่าถ้าราคาเครื่องจักรสูงขึ้น IRR และ NPV จะลดลง และระยะเวลาคืนทุนจะเพิ่มขึ้น โดยถ้าราคาเพิ่มสูงขึ้น 46 % หรือเพิ่มขึ้นเป็น 153,179 บาท จะเป็นระดับสูงที่สุดที่ผลตอบแทนยังยอมรับได้ หากราคาเครื่องจักรสูงกว่านี้โครงการจะไม่คุ้มค่าที่จะดำเนินการ

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว : ค่าแรงงานคนงาน

ค่าแรงงานคนงาน (บาท)	IRR	NPV	PB
300 (กรณีฐาน)	15.6 %	48,178	5 ปี 1 เดือน
330 (+10 %)	11.2 %	22,686	6 ปี
345 (+15 %)	8.9 %	9,940	6 ปี 8 เดือน
356 (+19 % : กรณีแย่ที่สุดที่ยอมรับได้)	7 %	0	7 ปี 3 เดือน

จากตารางที่ 9 จะพบว่าถ้าค่าแรงคนงานเพิ่มขึ้น IRR และ NPV จะลดลง และระยะเวลาคืนทุนจะเพิ่มขึ้น โดยถ้าราคาเพิ่มสูงขึ้น 46 % หรือเพิ่มขึ้นเป็น 356 บาท จะเป็นระดับสูงที่สุดที่ผลตอบแทนยังยอมรับได้ หากค่าแรงคนงานสูงกว่านี้ โครงการจะไม่มีค่าที่จะดำเนินการ

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว :
จำนวนวันที่ผลิต (วัน/ปี)

จำนวนวันที่ผลิต (วัน/ปี)	IRR	NPV	PB
52 (กรณีฐาน)	15.6 %	48,178	5 ปี 1 เดือน
104 (+100 %)	37.8 %	201,356	2 ปี 8 เดือน
156 (+200 %)	57.4 %	354,534	1 ปี 9 เดือน
36 (-31 % : กรณีแย่มากที่สุดที่ยอมรับได้)	7.2 %	1,046	7 ปี 2 เดือน

จากตารางที่ 10 จะพบว่าถ้าจำนวนวันที่ผลิตลดลง IRR และ NPV จะลดลง และระยะเวลาคืนทุนจะเพิ่มขึ้น โดยถ้าจำนวนวันที่ผลิตลดลง 31 % หรือลดลงเหลือ 36 วันต่อปี จะเป็นระดับต่ำสุดที่ผลตอบแทนยังยอมรับได้ หากจำนวนวันที่ผลิตน้อยกว่านี้ โครงการจะไม่มีค่าที่จะดำเนินการ

จากการวิเคราะห์ความเสี่ยงของการดำเนินการผลิตแช่แข็งเห็ดฟางจากทางมะพร้าวพบว่าผลตอบแทนของโครงการมีความอ่อนไหวต่อราคาเห็ดฟางและปริมาณเห็ดฟางที่ผลิตได้ มากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากราคาเห็ดฟางหรือปริมาณเห็ดฟางที่ผลิตลดลงมากกว่า 9 % อัตราผลตอบแทนของโครงการจะลดลงจนการผลิตไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ($IRR < 7\%$, $NPV < 0$) และปัจจัยที่

ส่งผลกระทบต่อราคาลงมา ได้แก่ ค่าแรงคนงาน (19 %) จำนวนวันที่ผลิต (31 %) และราคาเครื่องจักร (46 %) ตามลำดับ ดังนั้นในการบริหารจัดการการผลิตเห็ดฟางเพื่อเป็นพลังงานทดแทนในชุมชน จึงเหมาะสำหรับชุมชนที่มีปริมาณทางมะพร้าวเพียงพอและควรรวบรวมวัตถุดิบให้ได้ประมาณ 300 kg แล้วจึงเริ่มทำการอัดแช่แข็งเห็ดฟาง จะมีความเหมาะสมมากกว่าการดำเนินการอัดแช่แข็งเห็ดฟางในปริมาณน้อยบ่อยครั้ง

4. สรุป

จากผลการศึกษาการนำทางมะพร้าวมาผลิตเห็ดฟางแช่แข็งด้วยวิธีอัดเย็นโดยใช้น้ำมันสำหรับเป็นตัวประสานพบว่าแช่แข็งเห็ดฟางสามารถอัดขึ้นรูปได้ดี โดยอัตราส่วนที่มีสมบัติด้านเห็ดฟางดีที่สุด คือ อัตราส่วนผสมทางมะพร้าว 1 กิโลกรัม ต่อ น้ำแข็งบด 1.25 ลิตร ที่มีค่าความร้อน 4,141.02 cal/g ปริมาณคาร์บอนคงตัว 10.71 % ปริมาณความชื้น 7.25 % ปริมาณเถ้า 5.28 % ปริมาณสารระเหย 76.75 % และประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน 9.07 % ซึ่งเพียงพอต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับชุมชนทดแทนฟืนไม้ได้

จากผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า การผลิตเห็ดฟางแช่แข็งด้วยวิธีอัดเย็นจากทางมะพร้าว มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยมี $NPV = 48,178 > 0$ และ $IRR = 15.6\% > 7\%$ แสดงว่าผลตอบแทนมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน สามารถดำเนินการได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้โครงการมีระยะเวลาคืนทุน (PB) = 5 ปี 1 เดือน ซึ่งไม่นานมากเมื่อเทียบอายุการใช้งานปกติของเครื่องจักร ทำให้โครงการมีความเสี่ยงต่อการขาดทุนต่ำ

จากการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวของผลตอบแทน (Sensitivity Analysis) พบว่าผลตอบแทนของโครงการมีความอ่อนไหวต่อ ราคาเห็ดฟางและ

จำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวันมากที่สุด รองลงมา คือ ค่าแรงคนงาน จำนวนวันที่ผลิต และ ราคาเครื่องจักร ตามลำดับ ดังนั้นการบริหารจัดการการผลิตเชื้อเพลิงนี้เพื่อเป็นพลังงานทดแทนในชุมชน จึงควรรวบรวมวัตถุดิบให้ได้ปริมาณที่เพียงพอแล้วจึงเริ่มดำเนินการอัดแท่งเชื้อเพลิง จะมีความเหมาะสมมากกว่าการดำเนินการอัดแท่งเชื้อเพลิงในปริมาณน้อยบ่อยครั้ง

การแปรรูปทางมะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเป็นการนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาเป็นพลังงานทางเลือกสำหรับชุมชนอีกชนิดหนึ่ง เพื่อทดแทนฟืนและถ่าน สมบัติโดยทั่วไปของแท่งเชื้อเพลิงสามารถใช้สำหรับเป็นเชื้อเพลิงใช้งานในครัวเรือนได้ดี เป็นแนวทางหนึ่งของการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและ สามารถแก้ปัญหาการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณจาตุรนต์ จันทะมาตร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และขอขอบพระคุณ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และคุณวิชัย สุทธิธรรม นักวิชาการเกษตร ที่เอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์เพื่อทดสอบหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. รายการอ้างอิง

- [1] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2556, รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2013, กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 335 น.
- [2] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556, Energy in Thailand: Facts & Figures 2013, กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 21 น.
- [3] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555, แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564), กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 15 น.
- [4] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย, แหล่งที่มา : http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=130:2010-05-07-08-10-57&catid=58&Itemid=68, 1 กรกฎาคม 2557.
- [5] เกรียงไกร วงศาโรจน์, ธนิต สวัสดิ์เสวี, นริส ประทินทอง และประธาน วงศ์ศรีเวช, 2554, การผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากสบู่ดำ, วิศวกรรมสาร มข. 38(1): 65-72.
- [6] อัจฉรา อัครจุฑิกลชัย, ชลันดา เสมสายัณห์, นัฐพร ประภักดี, ณัฐธิดา เปี่ยมสุวรรณศิริ และนิภาวรรณ ชูชาติ, 2554, การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง, น. 162-168, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49, กรุงเทพฯ.
- [7] บัญจรัตน์ โจลานันท์, อาทิตย์ พุทธรัชชาติ และจันสุดา คาคูย์, 2554, พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไมยราบยักษ์, ว.วิจัย มข. 16(1): 20-31.
- [8] ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์, ฐานิตย์ เมธิยานนท์ และสมชาติ โสภณธณฤทธิ, 2547, การผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทราซันโดยใช้โมลาสเป็นตัวประสาน, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18, ขอนแก่น.
- [9] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ, ทิปรุณ คุณาพรวิวัฒน์, พิสุทธิ

- รัตนแสนวงศ์, จักรพันธ์ กัณหา และวรพจน์ พันธุ์คง, 2551, การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจาก ชีวเถ้าแกลบผสมขี้ข้าวโพดและกะลามะพร้าว ด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัว ประสาน, การประชุมวิชาการเครือข่ายการวิจัย ของสถาบันอุดมศึกษา, ขอนแก่น.
- [10] เอกลักษณ์ กิติภัทรถาวร, ประเสริฐ เรียบร้อย เจริญ และวลัยรัตน์ อุตตะมะปรากกรม, 2556, เชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมของตะกอน เปียกอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล, ว.วิจัยพลังงาน 10(3): 43-56.
- [11] อังคณา สุวรรณภูมิ, มะพร้าวนอก - มะพร้าวใน , กรมวิชาการเกษตร, แหล่งที่มา : http://it.doa.go.th/pibai/pibai/n15/v_6-july/ceaksong.html, 1 กรกฎาคม 2557.
- [12] สุวิทย์ เพชรห้วยลึก และคณะ, 2549, สมบัติทาง กายภาพของแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ปาล์ม น้ำมัน, เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- [13] ธนาคารแห่งประเทศไทย, แหล่งที่มา : <http://www2.bot.or.th/statistics/ReportPage.aspx?reportID=409>, 1 ตุลาคม 2557.