

การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง จากเปลือกสับปะรด

Feasibility Study of Biomass Briquettes Production from Pineapple Peel

ธนาพล ตันติสัตยกุล*, กะชามาศ สายดำ, สุจิตรา ภู่งสี
และศิวพร เงินเรืองโรจน์

ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Thanapol Tantisattayakul*, Kachamard Saidam, Sujitra Phusongsri
and Sivaporn Ngernruengroj

Department of Rural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเหมาะสมในการจัดการเปลือกสับปะรดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยวิธีอัดเย็นโดยใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน ในชุมชน การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การศึกษาความเหมาะสมทางเทคนิคซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM และการวิเคราะห์ผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมในรูปของการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และ (2) การศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อประเมินความเป็นได้ในการบริหารจัดการโดยชุมชนในทางปฏิบัติ ผลการศึกษาพบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,235-3,389 kcal/kg และมีค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วง 12.7-20.5, 56.0-68.9, 3.1-3.6 และ 9.9-20.7 % ตามลำดับ การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแทนฟืนไม้สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 13.13 kgCO₂eq/kg เปลือกสับปะรดแห้งที่ใช้ ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 9.4 % มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 12,551 บาท และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 6 ปี 6 เดือน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน โดยปัจจัยที่เป็นความเสี่ยงในการบริหารจัดการและมีผลต่อผลตอบแทนของโครงการมากที่สุดคือจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวัน รองลงมาคือค่าแรงคนงาน จำนวนวันที่ผลิต และราคาเครื่องจักร ตามลำดับ

คำสำคัญ : พลังงานทดแทน; เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง; เปลือกสับปะรด

Abstract

The objective of this research is to study the technical and economic feasibility of biomass briquette production from pineapple peel as agricultural residues 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. The technical feasibility study consists of 2 parts: (1) Fuel properties of the briquette and (2) environmental benefit in terms of greenhouse gas emission reduction. The fuel properties of briquette were analyzed according to ASTM standards. The results show that the heating value of the briquette was in the range between 3,235-3,389 kcal/kg. and moisture, volatile, ash, and fixed carbon content were 12.7-20.5, 56.0-68.9, 3.1-3.6, and 9.9-20.7 %, respectively. The using of the briquette instead of fuel wood can help reducing greenhouse gas emission by 13.13 kgCO₂eq/kg of dried-pineapple peel. 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 pineapple peel is economically feasible with IRR=9.4 %, NPV = 12,551 THB, and payback period = 6 years and 6 months. Moreover, the sensitivity analysis results showed that the most influential risk factors of the briquette production are number of fuel produced daily, followed by labor wages, number of production days a year, and price of machines, respectively.

Keywords: renewable energy; briquette; pineapple peel

1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญกับการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน ประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งสิ้น 75,804 ktoe โดยในปี ประกอบด้วยการใช้พลังงานจากพลังงานทดแทนดั้งเดิม (ฟืนไม้และแกลบ) รวมทั้งสิ้นประมาณร้อยละ 10.1 ของปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด [1] การใช้เชื้อเพลิงประเภทฟืนไม้เป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ทรัพยากรป่าไม้ลดลง โดยในปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้เหลืออยู่เพียงประมาณร้อยละ 30 ของพื้นที่ที่ดินทั้งหมด [2] ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานอย่างอื่นมาใช้ทดแทนเพื่อลดปัญหาดังกล่าว แหล่งพลังงานทดแทนที่

หาได้ง่ายและมีศักยภาพสูงในประเทศไทย คือ พลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร [3] การนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นพลังงานชีวมวลสามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และยังช่วยแก้ปัญหาการกำจัดของเสียและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้ในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ การใช้พลังงานจากชีวมวลยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน (global warming) เนื่องจากปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิตลอดวัฏจักรชีวิตของมันมีค่าเท่ากับศูนย์ (carbon neutral) [4] ชีวมวลจึงเป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน การแปรรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นพลังงานที่นิยมรูปแบบหนึ่ง คือ การอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งเป็นวิธีที่มีขั้นตอนที่

ไม่ยุ่งยากและสามารถทำได้ง่ายในชุมชน ได้เชื้อเพลิงที่จุดติดไฟทำได้ง่ายกว่าฟืนและถ่านและยังเป็นพลังงานสะอาด [5] ได้มีการวิจัยทดลองนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลายชนิดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง เช่น กิ่งสับดำ [6] เปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด [7] ต้นไมยราบยักษ์ [8] กะลามะพร้าว [9] ทางมะพร้าว [10] ชี้เถาแกลบผสมขี้ข้าวโพดและกะลามะพร้าว [11] ตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอลผสมชีวมวล (เปลือกมังคุด เปลือกทุเรียนและกะลามะพร้าว) [12] ซึ่งเชื้อเพลิงที่ได้จากงานวิจัยเหล่านี้มีสมบัติสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนไม้ได้เป็นอย่างดี

เปลือกสับปะรดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่มีปริมาณมากในประเทศไทย โดยปัจจุบันพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดในประเทศไทยมีมากกว่า 5 แสนไร่ และมีผลผลิตประมาณ 2 ล้านตันต่อปี [13] ซึ่งจะเกิดเศษเปลือกสับปะรดประมาณ 30 % ของผลสับปะรด [14] หรือประมาณ 6 แสนตันต่อปี เปลือกสับปะรดเหล่านี้หากปล่อยทิ้งไว้จะเกิดการเน่าเสียเกิดก๊าซมีเทน(CH_4) ซึ่งส่งกลิ่นรบกวนและยังเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน [15] วิธีการจัดการเปลือกสับปะรดเหล่านี้สามารถทำได้โดยการนำไปใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงโค [14] และการแปรรูปเป็นพลังงานได้ การแปรรูปเปลือกสับปะรดเป็นพลังงานสามารถทำได้โดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ [16] และการอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองนำเปลือกสับปะรดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนทดแทนการใช้ฟืนและถ่านไม้และเป็นการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรพร้อมทั้งช่วยแก้ปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมในชุมชน

2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง การอัดแท่งเชื้อเพลิง การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเทคนิคของการผลิตของการผลิตแท่งเชื้อเพลิง และขั้นตอนการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การศึกษาวิเคราะห์วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

การอัดแท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ใช้วิธีอัดเย็น (cold-press technique) โดยใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่มีค่าความร้อนสูงและสามารถยึดเกาะวัสดุให้เป็นเนื้อเดียวและเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพได้ดี [17] ในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง ได้แก่ เปลือกสับปะรดบดซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของเชื้อเพลิง และแป้งมันสำปะหลังซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสาน โดยวัดค่าความร้อน (heating value) ของวัตถุดิบทั้งสองตามมาตรฐาน ASTM D3286

2.2 การอัดแท่งเชื้อเพลิง

ขั้นตอนการอัดแท่งเชื้อเพลิงเป็นดังต่อไปนี้

2.2.1 นำเปลือกสับปะรดจากสวนของเกษตรกรที่เหลือทิ้งมาผึ่งแดดประมาณ 3 วัน ให้แห้ง จากนั้นนำมาเข้าเครื่องย่อยผ่านตะแกรงขนาด 1.8 มิลลิเมตร และเก็บเปลือกสับปะรดที่ย่อยบดบรรจุใส่กระสอบ โดยไม่ให้โดนน้ำหรือความชื้น

2.2.2 เตรียมตัวประสานน้ำแป้งมันสำปะหลัง โดยเตรียมแป้งมันสำปะหลังและน้ำในสัดส่วน แป้งมันสำปะหลัง 50 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร มาให้ความร้อน และกวนจนมีลักษณะเหนียวข้นเป็นแป้งเปียก ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้อัตราส่วนผสมเปลือกสับปะรดบดตากแห้งต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนเปลือกสับประด่อย่อยต่อน้ำแป้ง
มันสำปะหลัง

ตัวอย่าง	เปลือกสับประดอบด : น้ำแป้งมันสำปะหลัง (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก)
1	10 : 5
2	10 : 6
3	10 : 7
4	10 : 8
5	10 : 9

2.2.3 นำเปลือกสับประดผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมไว้ด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ ในตารางที่ 1 ไปอัดแท่ง เป็นแท่งเชื้อเพลิงรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร และตัดแท่งเชื้อเพลิงให้มีความประมาณ 50 เซนติเมตร

2.2.4 นำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ได้ไปผึ่งแดดเพื่อลดความชื้นและทำให้เชื้อเพลิงประสานกัน โดยวางบนพื้นปูนซีเมนต์กลางแจ้งเพื่อรับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง ใช้เวลาผึ่งแดดประมาณ 5-7 วัน ขึ้นกับสภาพอากาศจนแท่งเชื้อเพลิงแห้ง จากนั้นเก็บใส่ถุงพลาสติกมัดปากถุงให้แน่น

2.3 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเทคนิคของการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

2.3.1 การวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง

นำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งในขั้นตอนที่ 2.2 ไปวิเคราะห์หาสมบัติด้านเชื้อเพลิง โดยวิเคราะห์หาปริมาณต่าง ๆ ดังนี้

(1) ค่าความร้อน (heating value) ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3286

(2) ปริมาณ ความชื้น (moisture content) ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173

(3) ปริมาณเถ้า (ash content) ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174

(4) ปริมาณสารระเหย (volatile matter) ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175

(5) คาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3176

2.3.2 การวิเคราะห์ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ในรูปของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_{2e}) โดยใช้หน่วยกิโลกรัม ปริมาณนี้สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$ER = BE - PE \quad (1)$$

โดย ER คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากกิจกรรม (greenhouse gas emission reduction) (kgCO_{2eq})

BE คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ในกรณีฐานหรือปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อไม่ได้มีการทำกิจกรรม (baseline emission) (kgCO_{2eq})

PE คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ในกรณีที่ดำเนินโครงการหรือกิจกรรม (project emission) (kgCO_{2eq})

โดยที่ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกรณีคำนวณจากข้อมูลกิจกรรม (activity data) x ค่าการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (emission factor) [15]

2.3.3 การเปรียบเทียบกับแนวทางการจัดการรูปแบบอื่น

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบผลประโยชน์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการจัดการเปลือก

สับปรดด้วยการอัดแท่งเชื้อเพลิงกับการนำไปหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับใช้เป็นพลังงาน และการนำไปใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงโคซึ่งเป็นการจัดการเปลือกสับปรดเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้เช่นเดียวกัน โดยใช้แหล่งข้อมูลทุติยภูมิในการคำนวณ การเปรียบเทียบใช้ตัวชี้วัด 2 ตัว คือ พลังงานที่ได้รับสุทธิและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงคำนวณตามสมการที่ 1 และพลังงานที่ได้รับสุทธิคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$E_{net} = E_o - E_i$$

(2)

โดย E_{net} คือ พลังงานสุทธิ (kcal/kg เปลือกสับปรด)

E_o คือ พลังงานที่ได้รับ (kcal/kg เปลือกสับปรด)

E_i คือ พลังงานที่ต้องใช้ในกิจกรรม (kcal/kg เปลือกสับปรด)

การคำนวณพลังงานสุทธิและปริมาณ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงในแต่ละแนวทางมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลประโยชน์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมเปรียบเทียบกับแนวทางการจัดการอื่น

แนวทางจัดการ	พลังงานสุทธิ	การลดก๊าซเรือนกระจก
เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง (งานวิจัยนี้)	E_o = พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงอัดแท่ง E_i = พลังงานที่ใช้ในการบดเปลือกและอัดแท่งเชื้อเพลิง	BE = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อเปลือกสับปรดถูกปล่อยกองทิ้งไว้เกิดการเน่าเปื่อยปล่อยก๊าซมีเทน และ มีการตัดไม้มาทำฟืนสำหรับใช้ในครัวเรือน PE = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อนำเปลือกสับปรดมาทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับใช้แทนฟืนไม้สำหรับครัวเรือน
ผลิตก๊าซชีวภาพ	E_o = พลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพ E_i = พลังงานที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ (ถ้ามี)	BE = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อเปลือกสับปรดถูกกองทิ้งไว้เกิดการเน่าเปื่อยปล่อยก๊าซมีเทน และ มีการใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน PE = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อนำเปลือกสับปรดมาหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและนำไปใช้แทนก๊าซหุงต้มในครัวเรือน
อาหารสัตว์	-	BE = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อเปลือกสับปรดถูกกองทิ้งไว้เกิดการเน่าเปื่อยเกิดก๊าซมีเทน และ มีการผลิตอาหารสัตว์ PE = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อนำเปลือกสับปรดมาใช้เป็นอาหารสัตว์

2.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปรด

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปรดเพื่อประเมินความเหมาะสมในทาง

ปฏิบัติ โดยวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการเพื่อประเมินว่าผลประโยชน์ที่ได้จากการนำเลือกสัปดาห์การผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความคุ้มค่ากับต้นทุนการลงทุนและการบริหารจัดการหรือไม่ สามารถเป็นทางเลือกให้เกษตรกรใช้เป็นแนวทางจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและสามารถดำเนินการได้อย่างยั่งยืนหรือไม่ นอกจากนี้ได้วิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการเพื่อให้ทราบปัจจัยที่เป็นความเสี่ยงต่อการดำเนินโครงการในทางปฏิบัติ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.4.1 การวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการ

ตัวชี้วัดผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value, NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return, IRR) และระยะเวลาคืนทุน (payback period, PB) การคำนวณตัวชี้วัดแต่ละตัวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

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

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i/100)^t} \quad (3)$$

โดย 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)

i คือ อัตราคิดลด หรือ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ (%)

ซึ่งมีเกณฑ์ในการตัดสินใจคือการลงทุน

คือโครงการให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าเมื่อ $NPV \geq 0$ และไม่คุ้มค่าเมื่อ $NPV < 0$

(2) อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return, IRR) หมายถึงอัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์ แสดงถึงอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยของโครงการตลอดอายุโครงการ IRR สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR/100)^t} \quad (4)$$

โดย 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)

IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายใน (%)

ซึ่งมีเกณฑ์ในการตัดสินใจคือการลงทุนโครงการให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าเมื่อ $IRR \geq$ ต้นทุนของเงินลงทุนของโครงการ โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้ต้นทุนเงินลงทุนของโครงการเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์

(3) ระยะเวลาคืนทุน (simple payback period, PB) หมายถึงระยะเวลาที่กระแสเงินสดรับสะสมเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายจากเงินลงทุนเป็นตัวชี้วัดที่ใช้บอกสภาพความเสี่ยงของโครงการได้ โดยมีเกณฑ์ในการตัดสินใจคือจะยอมรับโครงการเมื่อ $PB \leq$ ระยะเวลาคืนทุนเป้าหมาย (target payback period)

2.4.2 การวิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการในงานวิจัยนี้ ใช้การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity analysis) เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการ โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) กำหนดตัวแปรที่มีความไม่แน่นอน ซึ่งต้องการศึกษา

(2) ระบุขอบเขตของค่าที่เป็นไปได้หรือ ช่วงที่สนใจสำหรับตัวแปรแต่ละตัว

(3) เปลี่ยนค่าของตัวแปรที่สนใจให้ละ ตัวโดยให้ตัวแปรอื่นที่เหลือคงที่ และคำนวณค่า NPV, IRR และ PB ของแต่ละกรณี เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ NPV, IRR และ PB กับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแต่ละตัว ในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบแทนของโครงการ 4 ปัจจัย ได้แก่ จำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวัน ราคาเครื่องจักร ค่าแรงคนงาน และจำนวนวันที่ผลิตต่อปี

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการวิเคราะห์วัตถุดิบในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนของเปลือกสับปะรดและ แป้งมันสำปะหลังที่วัดตามมาตรฐาน ASTM D3286 แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความร้อนของวัตถุดิบสำหรับเชื้อเพลิง ชีวมวลอัดแท่ง

วัตถุดิบ	ค่าความร้อน (cal/g)
เปลือกสับปะรด	3,262
แป้งมันสำปะหลัง	3,550

ค่าความร้อนของวัตถุดิบทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยแป้งมันสำปะหลังมีค่าความร้อนสูงกว่าประมาณ 10 % ดังนั้นการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานจะไม่ส่งผลให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้นลดลง

3.2 ผลการอัดแท่งเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงชีวมวลสามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ทุกอัตราส่วนผสมที่แสดงในตารางที่ 1 จากการตรวจสอบด้วยสายตา (visual inspection) พบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีความแน่นและสามารถคงรูปได้ดีตั้งแต่อัตราส่วนผสม เปลือกสับปะรด : น้ำแป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 10 : 5 โดยความเหนียวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปผึ่งแดดแล้ว แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะมีลักษณะใกล้เคียงกันทุกอัตราส่วน เมื่อทดลองบีบด้วยมือจะไม่เกาะแตกออกจากกัน ตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิงแสดงอยู่ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกสับปะรด

3.3 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเทคนิคของการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

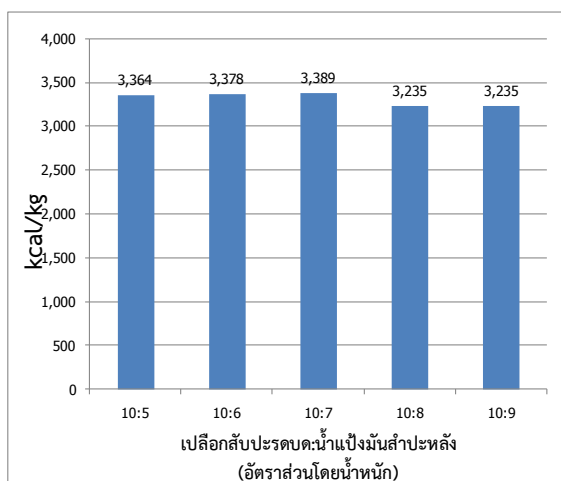
3.3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรดแสดงอยู่ในรูปที่ 2 จากรูปที่ 2a ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 3,235-3,389 cal/g เมื่อพิจารณาค่าความร้อนจะพบว่าค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนผสมต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่มีแนวโน้มระหว่างอัตราส่วนผสมอย่างมี

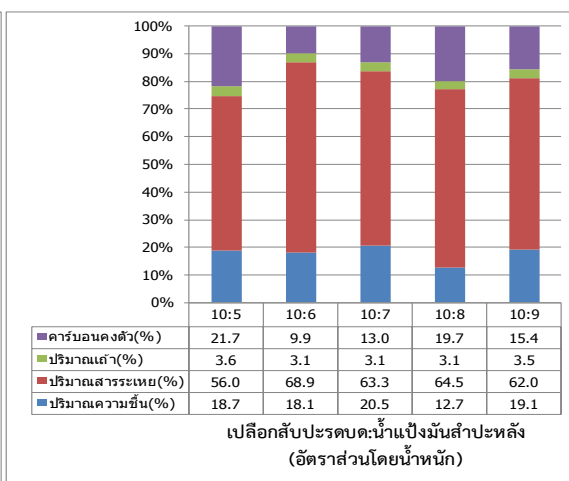
นัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อวิเคราะห์สัดส่วนของเปลือกสับปะรดบดและแป้งมันสำปะหลังในแท่งเชื้อเพลิงแห้ง จะพบว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังในแท่งเชื้อเพลิงที่ตากแห้งแล้วมีสัดส่วนเพียงประมาณ 3-6 % โดยน้ำหนัก ดังนั้นสามารถพิจารณาได้ว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ในแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลคือเปลือกสับปะรดบด นอกจากนี้การผสมกับผงแป้งมันสำปะหลังที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenous) อย่างสม่ำเสมอส่งผลให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่วัดได้เป็นผลจากเปลือกสับปะรดบดเป็นหลักและมีการกระจายตัวขึ้นกับตำแหน่งของตัวอย่างเชื้อเพลิงที่สุ่ม

มากกว่าอัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง จากรูปที่ 2b จะพบว่าค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่อัตราส่วนการผสมต่าง ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 12.7-20.5, 56.0-68.9, 3.1-3.6 และ 9.9-20.7 % ตามลำดับ

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการต้ม น้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถจุดติดไฟได้ง่ายโดยสัดส่วนติดไฟอยู่ระหว่าง 15-30 นาที ระยะเวลาที่มีกลิ่นและควันอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 2-5 นาทีแรกของการเผาไหม้



(a) ค่าความร้อน



(b) องค์ประกอบของเชื้อเพลิง

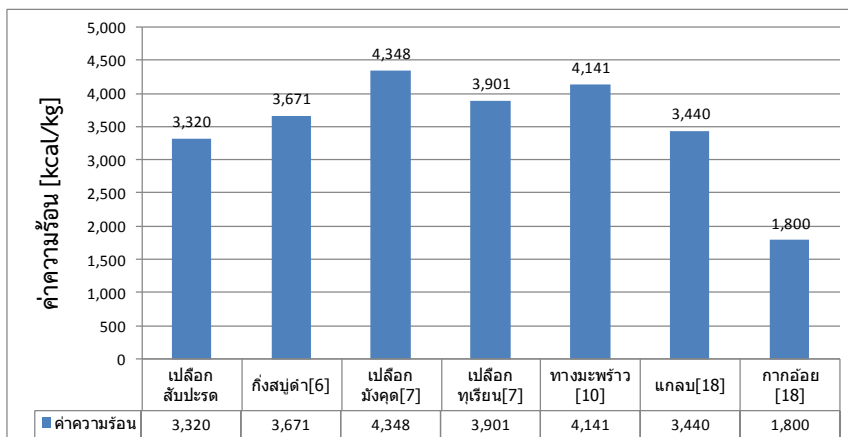
รูปที่ 2 สมบัติด้านเชื้อเพลิงของตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกสับปะรด

แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกสับปะรดในงานวิจัยนี้ เป็นเชื้อเพลิงเขียวซึ่งไม่ได้ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) ให้เป็นถ่านเพื่อประเมินสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ จึงได้เปรียบเทียบสมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้กับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งชนิดที่เป็นเชื้อเพลิงเขียวจากงานวิจัยอื่น ได้แก่ แท่งเชื้อเพลิงเขียวจากกิ่งสับปะรด [6] เปลือกมังคุด [7] เปลือกทุเรียน

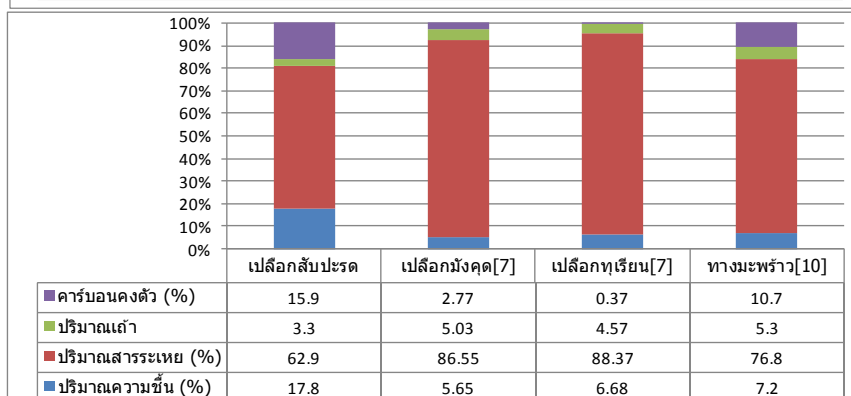
[7] และทางมะพร้าว [10] นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบกับค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงกับเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ แกลบและกากอ้อย ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3 ค่าสมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกสับปะรดที่แสดงในรูปที่ 3 เป็นค่าเฉลี่ยของสมบัติของอัตราส่วนผสมทั้ง 5 อัตราส่วน จากรูปที่ 3a จะพบว่าแท่งเชื้อเพลิงจากเปลือกสับปะรดมีค่าความร้อนเฉลี่ย 3,320 kcal/kg

ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแกลบและแห้งเชื้อเพลิงเขียวกิ่งสับ
ดำ และมีค่าสูงกว่าค่าความร้อนของกากอ้อย แต่ต่ำ
กว่าแห้งเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกมังคุด เปลือกทุเรียน
และทางมะพร้าว เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของ
เชื้อเพลิงในรูปที่ 3b พบว่าแห้งเชื้อเพลิงจากเปลือก
สับปรดมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 17.8 % ซึ่งสูงกว่า
ปริมาณความชื้นของแห้งเชื้อเพลิงเขียวในงานวิจัยอื่น
อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า
และคาร์บอนคงตัว พบว่าแห้งเชื้อเพลิงจากเปลือก
สับปรดมีปริมาณสารระเหยและปริมาณเถ้าเท่ากับ
62.9 และ 3.3 % ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่าของแห้ง
เชื้อเพลิงเขียวในงานวิจัยอื่น และมีคาร์บอนคงตัว
เท่ากับ 15.9 % ซึ่งสูงกว่าค่าของแห้งเชื้อเพลิงเขียวใน
งานวิจัยอื่น จากผลการเปรียบเทียบ สามารถสรุปได้ว่า

มีสมบัติด้านเชื้อเพลิงเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยเมื่อ
พิจารณาค่าความร้อน พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง
จากเปลือกสับปรดมีค่าความร้อนอยู่ในระดับที่
สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เมื่อเปรียบเทียบกับแกลบ
และกากอ้อยซึ่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีปริมาณการใช้
มากปัจจุบัน โดยในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมี
ปริมาณการใช้แกลบและกากอ้อยเป็นพลังงานรวม 1.9
และ 13.2 ล้านตัน ตามลำดับ [19] เมื่อพิจารณา
องค์ประกอบของเชื้อเพลิงพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัด
แท่งจากเปลือกสับปรดมีปริมาณสารระเหย ปริมาณ
เถ้า และคาร์บอนคงตัวดีกว่า แต่มีปริมาณความชื้น
ด้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง
จากวัตถุดิบชนิดอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ



(a) ค่าความร้อน

(b) องค์ประกอบของ
เชื้อเพลิง

รูปที่ 3 ผลการเปรียบเทียบสมบัติด้านเชื้อเพลิงกับเชื้อเพลิงอื่น

3.3.2 ผลการวิเคราะห์ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมจากการนำเปลือกสับปะรดเหลือทิ้งไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ (1) ไม่เกิดก๊าซมีเทนจากการปล่อยเปลือกสับปะรดทิ้งไว้ให้เน่าเปื่อย และ (2) สามารถลดการตัดไม้เพื่อ

นำมาใช้เป็นฟืนซึ่งช่วยให้คงพื้นที่ป่าไม้ไว้สำหรับกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทั้ง 2 ข้อนี้จะช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศได้ 13.3 kgCO_{2eq}/kg เปลือกสับปะรดแห้ง โดยมีรายละเอียดการคำนวณแสดงอยู่ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการนำเปลือกสับปะรดไปผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

รายการ	ค่า	หน่วย
เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง : กรณีฐาน (BE)		
1. การเก็บกักคาร์บอนไดออกไซด์ที่เสียไปจากการตัดไม้มาทำฟืน (พิจารณาไม้ยูคาลิปตัส)		
1.1 ค่าการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยูคาลิปตัส	6.09 ¹	tCO _{2eq} /ไร่/ปี
1.2 ระยะเวลาเก็บกักคาร์บอน	30 ¹	ปี
1.3 ปริมาณไม้ยูคาลิปตัสต่อพื้นที่	12,857 ²	kg ไม้ยูคาลิปตัส/ไร่
1.4 ค่าความร้อนไม้ยูคาลิปตัส	4,682 ²	kcal/kg ไม้ยูคาลิปตัส
1.5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด	3,320	kcal/kg เปลือกสับปะรดแห้ง
1.6 ปริมาณไม้ยูคาลิปตัสเทียบเท่าที่เชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 kg สามารถทดแทนพลังงานได้ (1.5/1.4)	0.7	kg ไม้ยูคาลิปตัส/kg เปลือกสับปะรดแห้ง
1.7 ปริมาณพื้นที่ปลูกไม้ยูคาลิปตัสเทียบเท่าที่เชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 kg สามารถทดแทนได้ (1.6/1.3)	0.0000552	ไร่/kg เปลือกสับปะรดแห้ง
1.8 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเทียบเท่าไม้ยูคาลิปตัสของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง 1kg (1.1x1.2x1.7x1,000)	10.08	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง
2. การปล่อยก๊าซมีเทนจากกองขยะเปลือกสับปะรด		
2.1 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากการกองขยะแบบดิน (เศษอาหาร)	2.53 ³	tCO _{2eq} /ตันขยะมูลฝอย
2.2 ค่าความชื้นของเปลือกสับปะรด	17.8	%
2.3 ปริมาณเปลือกสับปะรดเปียกเทียบเท่าเปลือกสับปะรดแห้ง 1 kg	1.22	kg เปลือกสับปะรดเปียก/kg เปลือกสับปะรดแห้ง
2.4 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากการกองขยะแบบดิน (2.1x2.3)	3.08	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง

ตารางที่ 4 (ต่อ)

รายการ	ค่า	หน่วย
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐาน (BE) (1.8+2.4)	13.15	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับประรดแห้ง
กรณีที่มีการดำเนินโครงการ (PE)		
1. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล		
1.1 การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล	0 ⁴	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับประรดแห้ง
2. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าในเครื่องบดและเครื่องอัดชีวมวล		
2.1 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ หรือ	0.04476	kWh/kg เปลือกสับประรดแห้ง
	674	kcal/kg เปลือกสับประรดแห้ง
2.2 emission factor ของการผลิตพลังงานไฟฟ้า	0.5113 ⁵	kgCO _{2eq} /kWh
2.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า (2.1x2.2)	0.0229	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับประรดแห้ง
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีที่มีการดำเนินโครงการ (PE) (1.1+2.3)	0.0229	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับประรดแห้ง
ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ER = BE-PE)	13.13	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับประรดแห้ง

¹อ้างอิงจาก [20]; ²อ้างอิงจาก [21]; ³อ้างอิงจาก [15]; ⁴การเผาไหม้ของชีวมวลไม่ถือเป็นการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเนื่องจากเป็น carbon neutral [22]; ⁵อ้างอิงจาก [23]

3.3.3 ผลการเปรียบเทียบกับแนวทางการจัดการรูปแบบอื่น

ผลการเปรียบเทียบพลังงานสุทธิและปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานวิจัยนี้กับแนวทางการจัดการรูปแบบอื่นแสดงอยู่ในตารางที่ 7 โดยมีรายละเอียดการคำนวณที่เกี่ยวข้องสำหรับกรณีนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ และกรณีนำไปทำอาหารสัตว์แสดงอยู่ในตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ จากตารางที่ 8 จะพบว่าเมื่อพิจารณาในแง่พลังงาน การนำเปลือกสับประรดมาอัดแห้งเชื้อเพลิงจะได้พลังงานสุทธิสูงที่สุดเท่ากับ 2,646 kcal/kg ตามมาด้วยการนำไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งได้พลังงานเท่ากับ 335 kcal/kg ส่วนกรณีนำไปใช้เลี้ยงสัตว์จะไม่มีผลประโยชน์ด้านพลังงาน

เมื่อพิจารณาในแง่สิ่งแวดล้อม พบว่าการนำเปลือกสับประรดมาอัดแห้งเชื้อเพลิงจะจะช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้มากที่สุดเท่ากับ 13.13 kgCO_{2eq}/kg เปลือกสับประรด ตามมาด้วยการนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ซึ่งช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้ 3.64 kgCO_{2eq}/kg เปลือกสับประรด และการนำไปผลิตก๊าซชีวภาพสามารถลดได้ 3.17 kgCO_{2eq}/kg เปลือกสับประรด

3.5 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแห้งจากเปลือกสับประรดในงานวิจัยนี้ เป็นการคิดความคุ้มค่าของการดำเนินการนำเศษเปลือกสับประรดซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้

ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้เองในชุมชนทดแทนการซื้อเชื้อเพลิงโดยมิได้ผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ผลประโยชน์ที่ได้รับคือเงินที่ประหยัดได้จากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งในงานวิจัยทดแทนการซื้อเชื้อเพลิงในท้องตลาดโดยคิดผลอ้างอิงจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิง สมมติฐานอื่น ๆ เช่น ปริมาณการผลิต จำนวนวันที่ผลิต ต้นทุนการผลิต ก็ได้ประมาณการบนพื้นฐานของการดำเนินการในลักษณะดังกล่าว เนื่องจากสมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อ

เพลิงที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญดังผลแสดงในหัวข้อที่ผ่านมา การวิเคราะห์จะใช้ข้อมูลกรณีแท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนเปลือกสับปะรด : น้ำแป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 10 : 5 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดมาคำนวณ รายละเอียดข้อกำหนดและสมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 5 การคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการนำเปลือกสับปะรดไปผลิตก๊าซชีวภาพ

รายการ	ค่า	หน่วย
ผลิตก๊าซชีวภาพ : กรณีฐาน (BE)		
1. การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG)		
1.1 ปริมาณ COD ในเปลือกสับปะรด	255.6 ¹	gCOD/kg เปลือกสับปะรดเปียก
1.2 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากการหมักเปลือกสับปะรดเปียก	0.12 ¹	m ³ /kg COD removed
1.3 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากการหมักต่อเปลือกสับปะรดเปียก (1.1x1.2/1,000)	0.0307	m ³ /kg เปลือกสับปะรดเปียก
1.4 ปริมาณเปลือกสับปะรดเปียกเทียบเท่าเปลือกสับปะรดแห้ง 1 kg (ความชื้น = 17.8 %)	1.22	kgเปลือกสับปะรดเปียก/kg เปลือกสับปะรดแห้ง
1.5 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากการหมักต่อเปลือกสับปะรดแห้ง (1.3x1.4)	0.0373	m ³ /kg เปลือกสับปะรดแห้ง
1.6 ค่าความร้อนของก๊าซมีเทน	37,538 ²	kJ/m ³
1.7 พลังงานของก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ (1.5x1.6) หรือ	1,401	kJ/kg เปลือกสับปะรดแห้ง
	335	kcal/kg เปลือกสับปะรดแห้ง
1.8 ค่าความร้อนของก๊าซหุงต้ม	6,360 ³	kcal/ลิตร LPG
1.9 อัตราการทดแทนก๊าซหุงต้มต่อเปลือกสับปะรด (1.7/1.8)	0.05264	ลิตรLPG/kg เปลือกสับปะรดแห้ง
1.10 emission factor ของก๊าซหุงต้ม (LPG)	1.6812 ⁴	kg CO _{2eq} /ลิตร LPG
1.11 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ก๊าซหุงต้ม (1.9x1.10)	0.09	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง

ตารางที่ 5 (ต่อ)

รายการ	ค่า	หน่วย
2. การปล่อยก๊าซมีเทนจากกองขยะเปลือกสับปะรด		
2.1 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากการกองขยะแบบต้น (เศษอาหาร)	2.53 ⁴	tCO _{2eq} /ตัน ขยะมูลฝอย
2.2 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากการกองขยะแบบต้น (2.1x1.4)	3.08	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐาน (BE) (1.11+2.2)	3.17	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง
กรณีที่มีการดำเนินโครงการ (PE)		
1. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ (มีเทน)		
1.1 การเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ (ก๊าซมีเทน)	0 ⁵	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีที่มีการดำเนินโครงการ (PE) (1.1)	0	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง
ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ER = BE-PE)	3.17	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง

¹อ้างอิงงานจาก [16]; ²อ้างอิงจาก [24]; ³อ้างอิงจาก [23]; ⁴อ้างอิงจาก [15]; ⁵การเผาไหม้ของชีวมวลไม่ถือเป็นการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเนื่องจากเป็น carbon neutral [22]

ตารางที่ 6 การคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการนำเปลือกสับปะรดไปใช้เป็นอาหารสัตว์

รายการ	ค่า	หน่วย
ผลิตก๊าซชีวภาพ : กรณีฐาน (BE)		
1. การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตอาหารสัตว์		
1.1 emission factor ของการผลิตอาหารสัตว์	0.4589 ¹	KgCO _{2eq} /kg อาหาร (เปลือกสับปะรดเปียก)
1.2 ปริมาณเปลือกสับปะรดเปียกเทียบเท่าเปลือกสับปะรดแห้ง 1 kg (ความชื้น = 17.8 %)	1.22	Kg เปลือกสับปะรดเปียก/kg เปลือกสับปะรดแห้ง
1.3 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการผลิตอาหารสัตว์ (1.1x1.2)	0.5583	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง
2. การปล่อยก๊าซมีเทนจากกองขยะเปลือกสับปะรด		
2.1 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากการกองขยะแบบต้น(เศษอาหาร)	2.53 ²	tCO _{2eq} /ตัน ขยะมูลฝอย (เปลือกสับปะรดเปียก)
2.2 ค่าความชื้นของเปลือกสับปะรด	17.8	%

ตารางที่ 6 (ต่อ)

รายการ	ค่า	หน่วย
2.3 ปริมาณเปลือกสับปะรดเปียกเทียบเท่าเปลือกสับปะรดแห้ง 1 kg	1.22	kg เปลือกสับปะรดเปียก/kg เปลือกสับปะรดแห้ง
2.4 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากการกองขยะแบบต้น (2.1x2.3)	3.08	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐาน (BE) (1.3+2.4)	3.64	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง
กรณีที่มีการดำเนินโครงการ (PE)		
1. นำเปลือกสับปะรดไปใช้เป็นอาหารสัตว์	0	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีที่มีการดำเนินโครงการ (PE) (1)	0	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง
ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ER = BE-PE)	3.64	kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง

¹อ้างอิงจาก [25] โดยใช้ค่า emission factor ของการผลิตอาหารสุกรขุนซึ่งใกล้เคียงกับอาหารโคมากที่สุด; ²อ้างอิงจาก [15]

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบกับแนวทางการจัดการรูปแบบอื่น

แนวทางการจัดการ	พลังงานสุทธิ (kcal/kg เปลือกสับปะรดแห้ง)			การลดก๊าซเรือนกระจก (kgCO _{2eq} /kg เปลือกสับปะรดแห้ง)		
	E _o	E _i	E _{net}	BE	PE	ER
เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง (งานวิจัยนี้)	3,320	674 ¹	2,646	13.15	0.0260	13.13
ผลิตก๊าซชีวภาพ	335 ²	0	335	3.17	0	3.17
อาหารสัตว์	0	0	0	3.64	0	3.64

¹พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องบดและเครื่องอัดแสดงอยู่ในตารางที่ 4; ²คำนวณจากข้อมูลงานวิจัยของพิมพ์ใจ และคณะ [16] ดังแสดงในตารางที่ 5

เมื่อนำสมมติฐานในตารางที่ 8 มาประมาณรายได้ เงินลงทุน ค่าใช้จ่ายและกระแสเงินสดสุทธิของโครงการตลอดอายุโครงการจะได้ผลดังแสดงอยู่ในตารางที่ 9 และจากกระแสเงินสดสุทธิของโครงการตลอดอายุโครงการ สามารถคำนวณตัวชี้วัด NPV, IRR และ PB ได้ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สามารถสรุปได้ว่าการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรดมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากตัวชี้วัดที่ผ่านเกณฑ์ทั้ง 3 ตัวชี้วัด

รูปที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity analysis) ของ NPV, IRR และ PB

ตารางที่ 8 สมมติฐานในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

รายการ	คำอธิบาย
ผลประโยชน์ของโครงการ	การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปรดทดแทนการซื้อเชื้อเพลิงที่ใช้ในครัวเรือน ทำให้ประหยัดรายจ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงของครัวเรือน การคำนวณผลประโยชน์ คัดจากเงินที่ประหยัดได้โดยคิดเทียบกับราคาราคาถ่านไม้ยูคาลิปตัสต่อค่าความร้อน ถ่านไม้ยูคาลิปตัสราคาประมาณ 7 บาท/กิโลกรัม มีค่าความร้อนประมาณ 7,000 kcal/kg ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งในงานวิจัยนี้ซึ่งมีค่าความร้อน 3,363 kcal/kg จะสามารถทดแทนค่าใช้จ่ายเทียบเท่า = $7 \times 3,363 / 7,000 = 3.36$ บาท/กิโลกรัม
เงินลงทุน	เครื่องบดวัตถุดิบขนาดราคา 35,000 บาท และเครื่องอัดแท่งแบบเกลียวราคา 70,000 บาท กำลังการผลิต 100 กิโลกรัม/ชั่วโมง กำลังการผลิตสูงสุด = $100 \times 8 = 800$ กิโลกรัม/วัน
ค่าใช้จ่าย	ค่าแรงคนงาน 300 บาท/วัน/คน $\times$ 2 คน = 600 บาท/วัน (ทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน) ค่าไฟฟ้า = 0.16 บาท/กิโลกรัม แท่งเชื้อเพลิง ค่าน้ำประปา = 0.0011 บาท/กิโลกรัม แท่งเชื้อเพลิง ค่าแรงแม่เหล็ก = 0.28 บาท/กิโลกรัม แท่งเชื้อเพลิง
จำนวนแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิต	300 กิโลกรัม/วัน [ประมาณการแบบอนุรักษ์นิยม (conservative) โดยประมาณการผลิตเพียง 37.5 % ของกำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องจักร เพื่อให้สอดคล้องกับสมมติฐานปริมาณวัตถุดิบที่มี และเผื่อเวลาสำหรับการนำแท่งเชื้อเพลิงวางตากแดดหลังอัดขึ้นรูป]
จำนวนวันที่ผลิต	52 วัน/ปี (รวบรวมวัตถุดิบในชุมชนและผลิต 1 ครั้งต่อสัปดาห์)
อัตราเงินเฟ้อ	3 % (อัตราเงินเฟ้อเฉลี่ยย้อนหลัง 10 ปี) ¹
อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ (= อัตราคิดลด)	ใช้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ = 7 % [อ้างอิง MLR (minimum loan rate) ในปัจจุบัน (กฎหมายพันธบัตร 2558)]
อายุของโครงการ	10 ปี

¹ อ้างอิงจากอัตราเงินเฟ้อเฉลี่ยย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2546-2556) [25]

ตารางที่ 9 ประมาณการกระแสเงินสด (cash flow projection) ของโครงการ

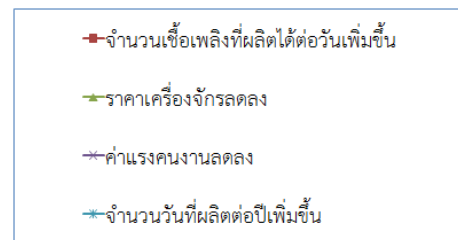
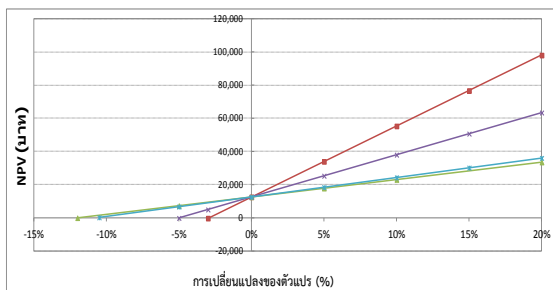
ปี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ผลประโยชน์	3.36 บาท/kg 300 kg/วัน	54,032	55,649	57,314	59,029	60,795	62,613	64,487	66,416	68,403	70,450
รวมรายได้		54,032	55,649	57,314	59,029	60,795	62,613	64,487	66,416	68,403	70,450
ค่าแรงงาน	2.00 บาท/kg	32,133	33,095	34,085	35,105	36,155	37,237	38,351	39,498	40,680	41,897
ค่าไฟ	0.16 บาท/kg	2,517	2,592	2,670	2,750	2,832	2,917	3,004	3,094	3,186	3,282
ค่าเปลือกสับปรด	0.00 บาท/kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ค่าแรงแม่เหล็ก	0.28 บาท/kg	4,519	4,654	4,793	4,937	5,084	5,236	5,393	5,554	5,721	5,892
ค่าน้ำประปา	0.0011 บาท/kg	17	17	18	18	19	20	20	21	21	22
รวมค่าใช้จ่าย	2.44 บาท/kg	39,186	40,358	41,566	42,810	44,090	45,409	46,768	48,167	49,608	51,092
เงินลงทุน											
เครื่องย่อย	35,000 บาท	-35,000									
เครื่องอัด	70,000 บาท	-70,000									
กระแสเงินสดสุทธิของโครงการ		-105,000	14,846	15,290	15,748	16,219	16,704	17,204	17,719	18,249	18,795

ตามลำดับ เมื่อปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ จำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวัน ค่าแรงคนงาน จำนวนวันที่ผลิตต่อปี และ

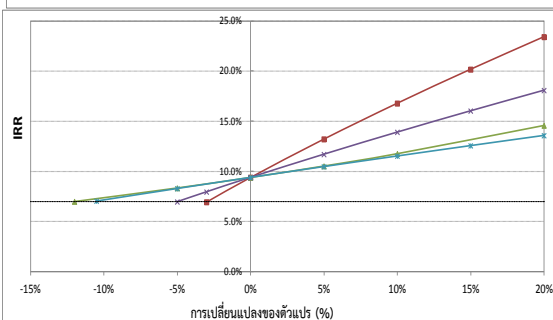
ราคาเครื่องจักร เปลี่ยนแปลงไปจากที่คาดการณ์ไว้ เปรียบเทียบกับผลตอบแทนในกรณีฐาน (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

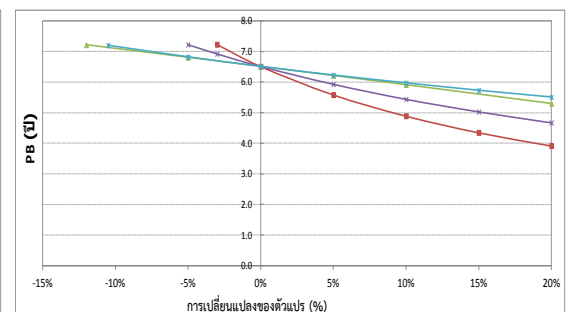
ตัวชี้วัด	ค่า	ความหมาย
NPV	12,551 บาท	NPV > 0 แสดงว่าการลงทุนโครงการมีความคุ้มค่า
IRR	9.4 %	IRR > อัตราดอกเบี้ย 7 % แสดงว่าการลงทุนโครงการมีความคุ้มค่า
PB	6 ปี 6 เดือน	ระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าอายุการใช้งานของเครื่องจักร แสดงว่าโครงการมีความเสี่ยงในระดับที่ยอมรับได้



(a) NPV



(b) IRR



(c) PB

รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวล

จากรูปที่ 4a และ 4b เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ NPV และ IRR ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่าง ๆ จากความชัน (slope) ของเส้นจะพบว่า NPV และ IRR มีแนวโน้มเช่นเดียวกันโดยมีความอ่อนไหวต่อจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวันมากที่สุด รองลงมาคือค่าแรงคนงาน จำนวนวันที่ผลิตต่อปี และ ราคาเครื่องจักร ตามลำดับ โดยถ้าจำนวนเชื้อ

เพลิงที่ผลิตได้ต่อวันลดลงมากกว่า 3 % เปรียบเทียบกับกรณีฐาน การผลิตจะไม่คุ้มค่าที่จะดำเนินการในทางปฏิบัติ (NPV < 0, IRR < 7 %) ในทำนองเดียวกัน ถ้าค่าแรงคนงานเพิ่มขึ้น 5 % หรือจำนวนวันที่ผลิตต่อปีลดลง 10.5 % หรือราคาเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 12 % เปรียบเทียบกับกรณีฐานจะทำให้การผลิตไม่คุ้มค่าที่จะดำเนินการเช่นกัน ร้อยละการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

เป็นการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแต่ละปัจจัยที่พิจารณา ที่การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งยังมีความคุ้มค่าอยู่ ในทางกลับกัน หากปัจจัยต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงในทางตรงข้าม กล่าวคือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น ราคาเครื่องจักรลดลง ค่าแรงคนงานลดลง และ จำนวนวันที่ผลิตต่อปีเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้การผลิตมีความคุ้มค่ายิ่งขึ้น ไม่ส่งกระทบทางลบใด ๆ ต่อโครงการ

จากรูปที่ 4c จะพบว่า PB มีความอ่อนไหวต่อจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวันมากที่สุด รองลงมาคือค่าแรงคนงาน จำนวนวันที่ผลิตต่อปี และราคาเครื่องจักร ตามลำดับ เช่นเดียวกับกรณี NPV และ IRR เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ PB จะพบว่าที่เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่ยอมรับได้ของปัจจัยแต่ละตัว ได้แก่ ราคาเชื้อเพลิงหรือจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวันลดลง 3 % ค่าแรงคนงานเพิ่มขึ้น 5 % จำนวนวันที่ผลิตต่อปีลดลง 10.5 % หรือราคาเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 12 % PB จะมีค่าประมาณ 7 ปี 3 เดือน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากกรณีฐานประมาณ 9 เดือน แต่ยังเป็นระยะเวลาที่ยอมรับได้เนื่องจากสั้นกว่าอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยของเครื่องจักร อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ PB จะอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ แต่เมื่อพิจารณา NPV และ IRR จะพบว่าการผลิตจะไม่คุ้มค่าเมื่อปัจจัยแต่ละตัวที่พิจารณาเปลี่ยนแปลงไปมากกว่านี้

จากการวิเคราะห์ความเสี่ยงของการดำเนินการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกสับปะรด สรุปได้ว่าความคุ้มค่าของการผลิตมีความอ่อนไหวต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวันมากที่สุด ดังนั้นในการบริหารจัดการการผลิตเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในชุมชนจึงเหมาะสำหรับชุมชนที่มีปริมาณเปลือกสับปะรดมากเพียงพอ นอกจากนี้ในการดำเนินการอัดแท่งเชื้อเพลิงควรรวบรวมวัตถุดิบให้ได้ประมาณ 300 kg ขึ้นไปก่อน แล้วจึงเริ่มทำการอัดแท่งซึ่งเชื้อเพลิงแต่ละรอบ จะมีความเหมาะสมมากกว่าการ

ดำเนินการอัดแท่งเชื้อเพลิงในปริมาณน้อยบ่อยครั้ง

4. สรุป

ผลการศึกษาการนำเปลือกสับปะรดเหลือทิ้งมาผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งด้วยวิธีอัดเย็นโดยใช้น้ำมันสำหรับหลัเป็นตัวประสาน พบว่าแท่งเชื้อเพลิงสามารถอัดขึ้นรูปได้ดีเมื่ออัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของน้ำมันสำหรับหลัต่อเปลือกสับปะรดตั้งแต่ 10:5 ขึ้นไป เชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,235-3,389 kcal/kg ซึ่งเพียงพอต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับชุมชนได้เมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สและกากอ้อย ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และมีปริมาณความชื้น เก้า สาระระเหย และคาร์บอนคงตัวในช่วงใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงเขียวที่ทำจากวัตถุดิบอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ต้องการเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง อาจพิจารณานำวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่นที่มีค่าความร้อนสูงกว่าเปลือกสับปะรดที่สามารถหาได้ในชุมชนมาเป็นวัตถุดิบผสมเพิ่มลงไปในการผลิตเชื้อเพลิง

การเปรียบเทียบผลประโยชน์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของแนวทางจัดการในงานวิจัยนี้กับการนำเปลือกสับปะรดไปผลิตก๊าซชีวภาพและการนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ พบว่าการนำเปลือกสับปะรดมาอัดแท่งเชื้อเพลิงได้พลังงานสุทธิเท่ากับ 2,646 kcal/kg และสามารถช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับ 13.13 $\text{kCO}_2\text{eq/kg}$ ซึ่งสูงกว่าแนวทางการจัดการอีก 2 รูปแบบ

ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยมี $\text{NPV} = 12,551 > 0$ และ $\text{IRR} = 9.4 \% > 7 \%$ แสดงว่าผลตอบแทนมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน สามารถดำเนินการได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้โครงการมี

ระยะเวลาคืนทุน (PB) = 6 ปี 6 เดือน ซึ่งไม่นานมาก เมื่อเทียบอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยของเครื่องจักร ทำให้โครงการมีความเสี่ยงต่อการขาดทุนต่ำ

ผลการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวของผลตอบแทน (sensitivity analysis) แสดงให้เห็นว่า ผลตอบแทนของโครงการมีความอ่อนไหวต่อราคาเชื้อเพลิงมากที่สุด และจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวันมากที่สุด รองลงมาคือค่าแรงคนงาน จำนวนวันที่ผลิตและราคาเครื่องจักร ตามลำดับ ดังนั้นการบริหารจัดการผลิตเชื้อเพลิงนี้เพื่อเป็นพลังงานทดแทนในชุมชน จึงควรรวบรวมวัตถุดิบให้ได้ปริมาณที่เพียงพอแล้วจึงเริ่มดำเนินการอัดแท่งเชื้อเพลิง จะมีความเหมาะสมมากกว่าการดำเนินการอัดแท่งเชื้อเพลิงในปริมาณน้อยบ่อยครั้ง

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ในกรณีที่ชุมชนบริหารจัดการเพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลภายในชุมชน ในกรณีที่ชุมชนมีปริมาณเปลือกสับปะรดมาก หรือในกรณีที่ต้องการดำเนินการในเชิงพาณิชย์ โดยรับซื้อเปลือกสับปะรดเพิ่มเติมจากพื้นที่อื่น อาจพิจารณาศึกษากรณีผลิตเพื่อขายเชิงพาณิชย์เพิ่มเติมได้นอกจากนี้ ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ (อัตราคิดลด) และเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจความคุ้มค่าหรืออัตราผลตอบแทนที่ต้องการในงานวิจัยนี้ กำหนดจากต้นทุนทางการเงินมาตรฐานในตลาด กล่าวคือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เฉลี่ยของธนาคารพาณิชย์ที่ 7 % ในกรณีที่ชุมชนมีความคาดหวังผลตอบแทนที่ต่างไปจากนี้ เกณฑ์ที่ใช้การตัดสินใจจะเปลี่ยนไป เช่น ถ้าหากผลตอบแทนที่ชุมชนพอใจต่ำกว่า 7 % โครงการก็จะมีมีความคุ้มค่ามากขึ้น หรือตรงกันข้ามในทางกลับกัน

การแปรรูปเปลือกสับปะรดเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเป็นแนวทางหนึ่งของการกำจัดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีประโยชน์และมีประสิทธิภาพ

สามารถใช้เป็นพลังงานทางเลือกทดแทนฟอสซิลและถ่านสำหรับชุมชนและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเวลาเดียวกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

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

6. รายการอ้างอิง

- [1] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557, สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม-ธันวาคม 2557, 5 น.
- [2] มุลนิธิสืบนาคะเสถียร, รายงานสถานการณ์ป่าไม้ไทย พ.ศ. 2557, แหล่งที่มา : http://www.seub.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=1287:seubnews&catid=112:clipnews&Itemid=141, 15 มีนาคม 2558.
- [3] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555, แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564), กระทรวงพลังงาน, 15 น.
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006, 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

- Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Available Source: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
- [5] ประลอง ดำรงค์ไทย, แท่งเชื้อเพลิงเขียวเพื่อทดแทนฟืนและถ่าน, แหล่งที่มา : http://www.dnp.go.th/research/Knowledge/green_fuel.htm, 25 มกราคม 2558.
- [6] เกรียงไกร วงศาโรจน์, ธนิต สวัสดิ์เสวี, นริส ประทีนทอง และประธาน วงศ์ศรีเวช, 2554, การผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากสับปะรด, วิศวกรรมสาร มข. 38(1): 65-72.
- [7] อัจฉรา อัครวรกิจกุลชัย, ชลันดา เสมสายัณห์, นัฐพร ประภักดิ์, ณัฐธิดา เปี่ยมสุวรรณศิริ และนิภาวรรณ ชูชาติ, 2554, การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง, น. 162-168, การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49, กรุงเทพฯ.
- [8] บัญจรัตน์ โจลานันท์, อาทิตย์ พุทธิรักษาติ และจินสุดา คาคูย์, 2554, พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไมยราบยักษ์, ว.วิจัย มข. 16(1): 20-31.
- [9] ประสาน สติยเรืองศักดิ์, ฐานิตย์ เมธิยานนท์ และสมชาติ โสภณธณฤทธิ, 2547, การผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้โพลีเอทิลีนเป็นตัวประสาน, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, ขอนแก่น.
- [10] ธนาพล ตันติสตัยกุล, สุริยา พงษ์เกษม, ปรียา ปวีณ ภูญา, ภาณุวัฒน์ ไถ่บ้านกวย, 2558, พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว, ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 23(3): 418-429.
- [11] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ, ที่ปรกร คุณาพรวิวัฒน์, พิสุทธิรัตน์ แสนวงษ์, จักรพันธ์ กัณหา และวรพจน์ พันธุ์คง, 2551, การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชี้เถาแกลบผสมขี้ข้าวโพดและกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน, การประชุมวิชาการของเครือข่ายการวิจัยของสถาบันอุดมศึกษา, ขอนแก่น.
- [12] เอกลักษณ์ กิติภัทรถาวร, ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ และวลัยรัตน์ อุตตมะปรารกรม, 2556, เชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมของตะกอนเปียกอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล, ว.วิจัยพลังงาน 10(3): 43-56.
- [13] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, สับปะรดโรงงาน : เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2556-2558, แหล่งที่มา : <http://www.oae.go.th/download/prcai/DryCrop/pineapple.pdf>, 15 มีนาคม 2558.
- [14] สุมณ โพธิ์จันทร์, การใช้ผลพลอยได้จากสับปะรดเป็นอาหารโคเนื้อ-โคนม, แหล่งที่มา : http://expert.dld.go.th/attachments/article/166/pine_ap.pdf, 17 มีนาคม 2558.
- [15] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556, แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 72 น.
- [16] พิมพ์ใจ นามศรี, จินตนา จิตต์ภูภักดิ์, วรฤช สุวจิตตานนท์, บุญส่ง ศิลปเจริญกุล และวิไล รัสสาตทอง, 2552, การผลิตก๊าซชีวภาพจากสับปะรดเหลือทิ้งโดยกระบวนการหมักไม่ใช้ออกซิเจนในถังหมักแบบท่อไหล, 2552, การประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิต ศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 15.

- [17] สุวิทย์ เพชรห้วยลึก และคณะ, 2549, สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ปาล์มน้ำมัน, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- [18] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556, รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2013, กระทรวงพลังงาน, 335 น.
- [19] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556, รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย 2556, 68 น.
- [20] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, การพัฒนาโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดภาคป่าไม้: แหล่งสะสมของคาร์บอน, แหล่งที่มา : http://www.tgo.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=219%3Aar-cdm&catid=41%3Acdm-project-development-by-type&Itemid=72&limitstart=3, 9 เมษายน 2558.
- [21] มะลิวัลย์ หฤทัยชนานันต์, เกษม หฤทัยชนานันต์, เอกพงษ์ ธนะวดี, ศักดา พรหมเลิศ, เอกชัย บายแสงจันทร์, 2553, ศักยภาพของกระถินยักษ์ ยูคาลิปตัส กระถินเทพา และกระถินเทพณรงค์ในการปลูกเป็นสวนป่าพืชพลังงาน, การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, กรุงเทพฯ.
- [22] Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006, 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2: Energy, Available Source: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>.
- [23] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2558, คู่มือระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับสาขาการผลิตและใช้พลังงานอุตสาหกรรม การจัดการของเสีย และการขนส่ง, องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 64 น.
- [24] Cengel, Y.A. and Boles, M.A., 2011, Thermodynamics an Engineering Approach, 7th Ed, McGraw-Hill, 857p.
- [25] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2557, ค่า Emission Factor โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม, แหล่งที่มา : http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/download/Emission_Factor_CFP.pdf, 21 เมษายน 2558.
- [26] ธนาคารแห่งประเทศไทย, แหล่งที่มา : <http://www2.bot.or.th/statistics/ReportPage.aspx?reportID=409>, 1 ตุลาคม 2557.