การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันและทางใบมะพร้าว สำหรับผลิตไฟฟ้า

ศิวพล ตั้งมโนเทียนชัย[1] วารุณี เตีย[2*] และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์[3]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

บทคัดย่อ

ปัจจุบันวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เป็นทางใบปาล์มน้ำมันและทางใบมะพร้าวยังไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์มากนักในประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันและทางใบมะพร้าวสำหรับผลิตไฟฟ้า โดยพิจารณาพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันและมะพร้าวสูงของ อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี มาเป็นกรณีศึกษาสำหรับการตั้งโรงไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาโรงไฟฟ้าที่ใช้ระบบ Stoker boiler ร่วมกับกังหันไอน้ำขนาด 5, 7 และ 9 เมกะวัตต์ โดยพิจารณาเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก ผลการศึกษาพบว่าศักยภาพของทางใบมะพร้าวในพื้นที่กรณีศึกษาไม่เพียงพอสำหรับการผลิตไฟฟ้าขนาด 5 เมกะวัตต์ และมีความยากในการเก็บรวบรวม ขณะที่ทางใบปาล์มน้ำมันมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการผลิตไฟฟ้าขนาด 9 เมกะวัตต์ โดยมีระยะทางการขนส่งไม่เกิน 15 กิโลเมตร ณ ราคาทางใบปาล์มน้ำมัน(รวมค่าขนส่ง)เท่ากับ 1,000 บาท/ตัน ที่ความชื้น 33.3% w.b. ค่าต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 5, 7 และ 9 เมกะวัตต์ ที่อัตราส่วนลด 10% - 12% มีค่าอยู่ในช่วง 4.12 – 4.24, 4.07 – 4.19 และ 4.00 – 4.12 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตรารับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากมวลชีวภาพในปัจจุบัน เมื่อพิจารณาที่อัตราผลตอบแทนต่อการลงทุน 10% - 12% อัตรารับซื้อไฟฟ้าที่จูงใจควรมีค่าอยู่ในช่วง 5.160 – 5.337 และ 4.345 – 4.519 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง สำหรับสัญญารับซื้อไฟฟ้า 7 ปี และ 20 ปี ตามลำดับ

คำสำคัญ : การผลิตไฟฟ้า / ทางใบปาล์มน้ำมัน / ทางใบมะพร้าว / มวลชีวภาพ / วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

* *Corresponding author : warunee.tia@kmutt.ac.th*

1 *นักศึกษาปริญญาโท คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ*

2 *รองศาสตราจารย์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ*

3 *ศาสตราจารย์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ*

Feasibility Study of Using Oil Palm and Coconut Fronds for Electricity Generation

Siwapol Tangmanotienchai[1], Warunee Tia[2*] and Somchart Soponronnarit[3]

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bang Mod, Thung Khru, Bangkok 10140

Abstract

Nowadays, agricultural residues,including oil palm and coconut fronds in Thailand are still not much utilized. This research therefore studied the feasibility of using oil palm and coconut fronds for generating electricity. Phun Phin, the high oil palm and coconut plantation area, in Surat Thani province, was used as the case study for power plant installation. Three sizes of power plant having the capacities of 5, 7 and 9 MW, which used stoker boiler with steam turbines, were considered in this research as the very small power producers. The results showed that the amount of coconut frond residues in this area was not enough for 5-MW power generation; the residues were also quite difficult to collect. On the other hand, the oil palm frond residues had potential for 9-MW power generation within the transportation distance of less than 15 kilometers. At the fuel price (including transportation cost) of 1,000 Baht/ton oil palm frond residues with moisture content of 33.3% w.b., the levelized unit cost of generating electricity of 5, 7 and 9 MW at 10 to 12% discounted rate was in the range of 4.12 to 4.24, 4.07 to 4.19 and 4.00 to 4.12 Baht/kWh, respectively. These values were higher than the current buyback rate of biomass power. With the normal rate of return on investment (10% - 12%), the incentive buyback rate should be in the range of 5.160 – 5.337 and 4.345 – 4.519 Baht/kWh for 7 and 20 years of contract periods, respectively.

Keywords : Agricultural Residues / Biomass / Coconut frond / Generating Electricity / Oil Palm Frond

* *Corresponding author : warunee.tia@kmutt.ac.th*

1 *Master's degree student, school of energy environment and materials.*

2 *Associate Professor, school of energy environment and materials.*

3 *Professor, school of energy environment and materials.*

1. บทนำ

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นก๊าซธรรมชาติซึ่งปัจจุบันต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ส่งผลต่อความมั่นคงทางด้านพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า และราคาไฟฟ้าด้วย นอกจากนี้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลจึงเป็นการเพิ่มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน [1, 2] รัฐบาลจึงได้มีนโยบายที่จะเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนในการผลิตไฟฟ้าโดยได้จัดทำแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2555 – 2573 (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3) ซึ่งได้กำหนดกำลังการผลิตไฟฟ้าจากมวลชีวภาพเท่ากับร้อยละ 17.85 ของแผนทั้งหมดในสิ้นปี 2573 [3] ถึงแม้ปัจจุบันประเทศไทยจะมีการผลิตไฟฟ้าจากมวลชีวภาพ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรประเภท ชานอ้อย แกลบ เศษไม้ [4] แต่ยังมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกหลายชนิดที่ยังไม่ได้นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า เช่น ทางใบของปาล์มน้ำมันและทางใบของมะพร้าว [5, 6, 7]

ปาล์มน้ำมันและมะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ทางภาคใต้คิดเป็นร้อยละ 86 และ 52 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั้งประเทศ ตามลำดับ [8] วัสดุเหลือใช้จากการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันและมะพร้าว คือ ทางใบ และยังไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์มากนัก [5] อย่างไรก็ดีการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงศักยภาพและความคุ้มค่าที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าได้ [9]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันและทางใบมะพร้าวสำหรับผลิตไฟฟ้าเพื่อเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากมวลชีวภาพจากแหล่งทรัพยากรภายในประเทศ โดยพิจารณาตั้งแต่รูปแบบของการเก็บรวบรวม ขนส่ง และการเตรียมทางใบของปาล์มน้ำมันและมะพร้าว

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ทางใบปาล์มน้ำมันและทางใบมะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้า แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่

(1) ประเมินหาศักยภาพของมวลชีวภาพโดยพิจารณาจากพื้นที่เพาะปลูกของปาล์มน้ำมันและมะพร้าวเพื่อเลือกใช้เป็นพื้นที่กรณีศึกษาสำหรับตั้งโรงไฟฟ้า

(2) ประเมินหาปริมาณมวลชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้า

(3) ประเมินหาขนาดของพื้นที่และระยะทางของการเก็บรวบรวมมวลชีวภาพ

(4) วิเคราะห์รูปแบบและต้นทุนของการเก็บรวบรวม การขนส่ง และการเตรียมมวลชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

(5) วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงิน

2.1 ประเมินหาศักยภาพของมวลชีวภาพโดยพิจารณาจากพื้นที่เพาะปลูกของปาล์มน้ำมันและมะพร้าวเพื่อเลือกใช้เป็นพื้นที่กรณีศึกษาสำหรับตั้งโรงไฟฟ้า

ในการหาศักยภาพของทางใบปาล์มน้ำมันและมะพร้าวจะใช้อัตราส่วนปริมาณทางใบเฉลี่ยต่อพื้นที่เพาะปลูก โดยประเมินหาจากอัตราการปลูก อัตราการได้ทางใบเฉลี่ย และน้ำหนักทางใบเฉลี่ย [10, 11] ได้ดังแสดงในตารางที่ 1 จากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พบว่าที่อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันและมะพร้าวสูง [8, 12] โดยสามารถประเมินปริมาณทางใบต่อปีของปาล์มน้ำมันและมะพร้าวได้ 210,970 ตัน/ปีและ 4,953 ตัน/ปี ตามลำดับ จึงได้พิจารณาเลือกใช้ อำเภอพุนพิน เป็นพื้นที่กรณีศึกษาสำหรับตั้งโรงไฟฟ้า

ตารางที่ 1 อัตราส่วนปริมาณทางใบเฉลี่ยต่อพื้นที่เพาะปลูกของปาล์มน้ำมันและมะพร้าว

ประเภทมวลชีวภาพ	อัตราการปลูก (ต้น/ไร่) [10, 11]	อัตราการได้ทางเฉลี่ย (ทาง/ต้น/ปี) [10, 11]	น้ำหนักทางเฉลี่ย (กิโลกรัม/ทาง)	อัตราส่วนปริมาณทางใบเฉลี่ย (ต้น/ไร่/ปี)
ปาล์มน้ำมัน	22	24	3.6	1.90
มะพร้าว	22	15	3.5	1.16

หมายเหตุ *น้ำหนักทางใบปาล์มน้ำมันและทางใบมะพร้าวเฉลี่ยคิดที่ปริมาณความชื้น 33.3% w.b.

2.2 ประเมินหาปริมาณมวลชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้า

ในการประเมินหาปริมาณมวลชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้ามวลชีวภาพขนาดเล็กมากที่เป็นระบบ Stoker boiler ร่วมกับกังหันไอน้ำขนาด 5, 7 และ 9 เมกะวัตต์ สามารถหาได้จากสมการที่ 1 โดยจะพิจารณาค่าประสิทธิภาพโดยรวมของโรงไฟฟ้าที่ร้อยละ 18 [13] จำนวนชั่วโมงการทำงานที่ 6,570 ชั่วโมง/ปี [14] และใช้ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงซึ่งได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างของทางใบปาล์มน้ำมันและทางใบมะพร้าวในพื้นที่กรณีศึกษา

$$F = \left[\frac{P \times 3.6 \times H}{\eta \times LHV}\right] \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อ F = ปริมาณเชื้อเพลิงมวลชีวภาพ(ตัน/ปี)
P = ขนาดโรงไฟฟ้า (เมกะวัตต์)
H = จำนวนชั่วโมงทำงาน (ชั่วโมง/ปี)
η = ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (ทศนิยม)
LHV = ค่าความร้อนต่ำของมวลชีวภาพ (เมกะจูล/กิโลกรัม)

2.3 ประเมินหาขนาดของพื้นที่และระยะทางของการเก็บรวบรวมมวลชีวภาพ

การประเมินหาขนาดพื้นที่ของการเก็บรวบรวมทางใบของปาล์มน้ำมันและมะพร้าว สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 [14] โดยจะพิจารณาค่าร้อยละของปริมาณทางใบปาล์มน้ำมันและทางใบมะพร้าวที่สามารถเก็บรวบรวมได้ 60, 80 และ 100 และปริมาณสูญเสียทางใบของปาล์มน้ำมันและมะพร้าวในการขนส่งและการเตรียมมวลชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงอีกร้อยละ 5

$$A = \left[\frac{F}{Y}\right] \div \left[\frac{C}{100}\right] \div \left[1 - \frac{SL}{100}\right] \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ A = ขนาดพื้นที่การเก็บรวบรวม (ไร่)
F = ปริมาณเชื้อเพลิงมวลชีวภาพ (ตัน/ปี)
Y = อัตราส่วนปริมาณทางใบเฉลี่ยต่อพื้นที่เพาะปลูกของปาล์มน้ำมันและมะพร้าว (ตัน/ไร่/ปี)
C = ร้อยละของปริมาณทางใบปาล์มน้ำมันและทางใบมะพร้าวที่สามารถเก็บรวบรวมได้
SL = ร้อยละของปริมาณเชื้อเพลิงสูญเสียในการขนส่งและการเตรียมมวลชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

สำหรับการประเมินหาระยะทางของการเก็บรวบรวมทางใบปาล์มน้ำมันและทางใบมะพร้าว จะพิจารณาพื้นที่การเก็บรวบรวมเป็น 2 แบบ ได้แก่

(1) การเก็บรวบรวมแบบพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส คำนวณได้จากสมการที่ 3

(2) การเก็บรวบรวมแบบพื้นที่วงกลม คำนวณได้จากสมการที่ 4

โดยจะให้โรงไฟฟ้าตั้งอยู่ที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่การเก็บรวบรวมทั้ง 2 แบบ

$$D_s = \sqrt{\left(\frac{A \times 1{,}600}{1{,}000{,}000}\right)} \quad \text{.....(3)}$$

เมื่อ D_s = ระยะทางการเก็บรวบรวมแบบพื้นที่สี่เหลี่ยม (กิโลเมตร)

A = ขนาดพื้นที่การเก็บรวบรวม (ไร่)

$$D_c = \left[\sqrt{\left(\frac{A \times 1{,}600}{1{,}000{,}000}\right) \div \pi}\right] \times 2 \quad \text{.....(4)}$$

เมื่อ D_c = ระยะทางการเก็บรวบรวมแบบพื้นที่วงกลม (กิโลเมตร)

A = ขนาดพื้นที่การเก็บรวบรวม (ไร่)

= ค่าคงตัวทางคณิตศาสตร์มีค่าเท่ากับ 3.14159

2.4 การวิเคราะห์รูปแบบและต้นทุนของการเก็บรวบรวม การขนส่ง และการเตรียมมวลชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์รูปแบบและต้นทุนของการเก็บรวบรวม การขนส่ง และการเตรียม ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้จากการเก็บข้อมูลและการสำรวจในพื้นที่กรณีศึกษา โดยข้อมูลที่สำรวจ ได้แก่

(1) ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรวบรวมทางใบของปาล์มน้ำมันและมะพร้าวเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง คือ ระยะเวลาที่ทางใบปาล์มน้ำมันและทางใบมะพร้าวมีความชื้นลดลงระดับหนึ่ง โดยยังไม่เกิดการสูญเสียมวล ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างของทางใบปาล์มน้ำมันและทางใบมะพร้าวที่ปล่อยทิ้งไว้ในสวนที่ระยะเวลาต่างๆ มาทดสอบหาค่าความชื้น

(2) รูปแบบการดำเนินการและต้นทุนของการเก็บรวบรวมและขนส่ง รวมทั้งประเภทพาหนะที่ใช้ขนส่ง ได้จากการสอบถามจากชาวสวนและบริษัทผู้รับเหมาขนส่ง [15]

(3) รูปแบบการเตรียมมวลชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงจะใช้เทคโนโลยีที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศไทย โดยในกรณีศึกษานี้จะไม่นำทางใบสดของปาล์มน้ำมันและมะพร้าวมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะปล่อยทิ้งไว้ในสวนให้ความชื้นลดลงระดับหนึ่งตามธรรมชาติ จึงจะเก็บมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ดังนั้น รูปแบบการเตรียมมวลชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงจะใช้เฉพาะเครื่องลดขนาดเท่านั้น

2.5 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงิน

ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินจะประเมินต้นทุนของการผลิตไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย

(1) เงินลงทุน ได้แก่ ค่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้าและค่าลงทุนการเตรียมเชื้อเพลิง

(2) ค่าเชื้อเพลิง ได้แก่ ค่ามวลชีวภาพ (รวมค่าการเก็บรวบรวมและขนส่ง)

(3) ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา ได้แก่ ค่าพลังงานของเครื่องลดขนาดและรถแทรกเตอร์สำหรับป้อนเชื้อเพลิง ค่าจ้างแรงงานและเงินเดือนพนักงาน ค่าบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า เครื่องลดขนาด และรถแทรกเตอร์สำหรับป้อนเชื้อเพลิง

โดยต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (LEC: Levelized electricity cost) จะพิจารณาอายุโครงการที่ 20 ปี และอัตราส่วนลดที่ 10%, 11% และ 12% ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 [9, 16]

$$LEC = \frac{\sum_{t=0}^{t} \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{t} \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad \text{.....(5)}$$

เมื่อ LEC = ต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ปรับเฉลี่ยตลอดอายุโครงการ (บาท/kWh)

I_t = ค่าลงทุนในปีที่ t (บาท)

M_t = ค่าดำเนินการและการบำรุงรักษาในปีที่ t (บาท)

F_t = ค่ามวลชีวภาพในการผลิตไฟฟ้าในปีที่ t (บาท)

E_t = ไฟฟ้าที่ผลิตได้ในปีที่ t (kWh/ปี)

r = อัตราส่วนลด (ทศนิยม)

จากนั้นจะพิจารณาหาค่าอัตรารับซื้อไฟฟ้าที่ทำให้ผู้ประกอบการมีอัตราผลตอบแทนต่อการลงทุนที่ 10%, 11% และ 12% และคิดที่ระยะเวลารับซื้อไฟฟ้าในอัตราที่จูงใจ (Feed in tariffs) 7 ปีและ 20 ปีโดยใช้วิธีการลองผิดลองถูกเพื่อหาค่าอัตรารับซื้อไฟฟ้า ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 6 [16]

$$\sum_{t=1}^{t} \frac{R_t - (M_t + F_t + TAX_t)}{(1+i)^t} - I_t = 0 \quad \text{.....(6)}$$

เมื่อ R_t = รายรับในปีที่ t (บาท)
TAX_t = ภาษีเงินได้ในปีที่ t (บาท)
i = อัตราผลตอบแทนต่อการลงทุน

3. ผลการวิเคราะห์

3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง รวมถึงขนาดของพื้นที่และระยะทางของการเก็บรวบรวมมวลชีวภาพ

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องการสำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 5, 7 และ 9 เมกะวัตต์ แสดงในตารางที่ 2 ในพื้นที่กรณีศึกษามีศักยภาพทางใบของปาล์มน้ำมันสูงกว่าทางใบของมะพร้าวอยู่มาก และจากการลงพื้นที่เก็บข้อมูล พบว่าทางใบมะพร้าวที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้จากการร่วงหล่นตามธรรมชาติแบบกระจัดกระจายทำให้เก็บรวบรวมยาก บางครั้งร่วงหล่นลงในร่องสวนจึงไม่สามารถเก็บมาใช้งานได้ ส่วนทางใบปาล์มน้ำมันที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้จากการตัดเพื่อเก็บทะลายปาล์มทุก 15 วัน ซึ่งจะมีการตัดทางใบปาล์มน้ำมันอย่างน้อยครั้งละ 2 ทางใบ/ต้น จึงมีปริมาณทางใบปาล์มน้ำมันที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงที่แน่นอน และมีตำแหน่งการเก็บรวบรวมที่แน่นอนทำให้สามารถเก็บรวบรวมได้ง่ายกว่า ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงเลือกวิเคราะห์ศักยภาพจากทางใบของปาล์มน้ำมันเท่านั้น

ผลการประเมินขนาดพื้นที่และระยะทางของการเก็บรวบรวม พบว่าขนาดพื้นที่ของการเก็บรวบรวมทางใบปาล์มน้ำมันที่ร้อยละของการเก็บรวบรวม 60, 80 และ 100 เท่ากับ 10,921, 8,191 และ 6,552 ไร่/เมกะวัตต์ ตามลำดับ ส่งผลให้ระยะทางของการเก็บรวบรวมและขนส่งไม่เกิน 15 กิโลเมตร ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณเชื้อเพลิงมวลชีวภาพสำหรับผลิตไฟฟ้า

ขนาดโรงไฟฟ้า (MW)	ปริมาณเชื้อเพลิงมวลชีวภาพ (ตัน/ปี)	
	ทางใบปาล์มน้ำมัน	ทางใบมะพร้าว
5	59,136	58,400
7	82,791	81,760
9	106,445	105,120

หมายเหตุ *ค่าความร้อนต่ำที่ความชื้น 33.3%w.b. ของทางใบปาล์มน้ำมัน เท่ากับ 11.11 เมกะจูล/กิโลกรัม และทางใบมะพร้าว เท่ากับ 11.25 เมกะจูล/กิโลกรัม

ตารางที่ 3 ระยะทางสำหรับการเก็บรวบรวมแบบพื้นที่สี่เหลี่ยมและวงกลมของทางใบปาล์มน้ำมัน

ขนาดโรงไฟฟ้า (MW)	ระยะทางสำหรับการรวบรวมทางใบปาล์มน้ำมัน (กิโลเมตร)					
	ร้อยละของการเก็บรวบรวมทางใบปาล์มน้ำมันในพื้นที่เก็บเกี่ยว					
	100%		80%		60%	
	สี่เหลี่ยม	วงกลม	สี่เหลี่ยม	วงกลม	สี่เหลี่ยม	วงกลม
5	7.2	8.2	8.1	9.1	9.3	10.5
7	8.6	9.7	9.6	10.8	11.1	12.5
9	9.7	11.0	10.9	12.3	12.5	14.2

3.2 ผลการวิเคราะห์รูปแบบของการเก็บรวบรวม การขนส่งและการเตรียมมวลชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

3.2.1 ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรวบรวมทางใบปาล์มน้ำมัน

ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรวบรวมทางใบปาล์มน้ำมันจะพิจารณาที่ระยะเวลาที่ยังไม่เกิดการสูญเสียมวล จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่กรณีศึกษา พบว่าระยะเวลาการรวบรวมทางใบปาล์มน้ำมันจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ทางใบและโคนใบ ดังรูปที่ 1 โดยทางใบปาล์มน้ำมันที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจะปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งในสวนประมาณ 2 เดือน ดังรูปที่ 2 ส่วนโคนใบจะใช้เวลาประมาณ 3 เดือน ดังรูปที่ 3 และผลจากการเก็บตัวอย่างไปทดสอบพบว่ามีค่าความชื้นเฉลี่ย เท่ากับ 33.3%w.b. [17]

รูปที่ 1 ภาพทางใบปาล์มน้ำมันสด

รูปที่ 2 ภาพทางใบปาล์มน้ำมันแห้ง

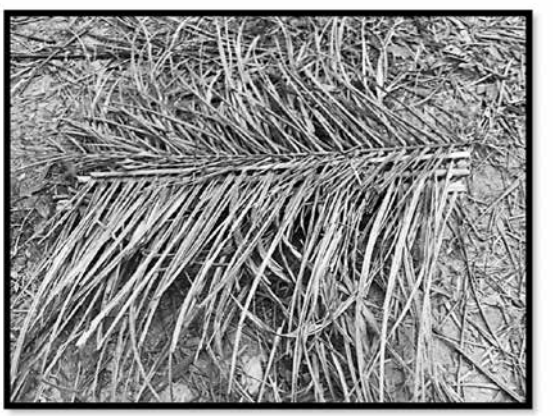
รูปที่ 3 ภาพโคนใบปาล์มน้ำมันแห้ง

3.2.2 รูปแบบการดำเนินงานของบริษัทผู้รับเหมาและประเภทพาหนะที่ใช้ขนส่ง

รูปแบบการเก็บรวบรวม และขนส่งมวลชีวภาพในพื้นที่กรณีศึกษาส่วนใหญ่เป็นลักษณะการจ้างบริษัทผู้รับเหมาให้มาเก็บรวบรวมและขนส่งมวลชีวภาพ โดยใช้รถกระบะเสริมรั้วเหล็กแบบตอนเดียว เนื่องจากตามปกติบริษัทผู้รับเหมาจะทำการตัดทะลายปาล์มทุกๆ 15 วันโดยต้องตัดทางใบของปาล์มน้ำมันออกอย่างน้อย 2 ทางใบ/ต้นอยู่แล้ว ดังรูปที่ 4 และนำไปกองทิ้งไว้ข้างต้นปาล์มน้ำมันดังรูปที่ 5 ดังนั้น จึงให้บริษัทผู้รับเหมาดำเนินการจัดเก็บทางใบของปาล์มน้ำมันที่แห้งแล้วตามระยะเวลาที่เหมาะสมไปส่งให้โรงไฟฟ้า โดยวิธีการจัดเก็บจะตัดทางใบออกเป็นท่อน ท่อนละ 1 เมตร ดังรูปที่ 6 เพื่อสะดวกต่อการเก็บรวบรวมและขนส่ง

รูปที่ 5 ภาพการกองทางใบปาล์มน้ำมัน

รูปที่ 4 ภาพการตัดทางใบปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 6 ภาพทางใบปาล์มน้ำมันท่อนละ 1 เมตร

3.2.3 รูปแบบการเตรียมมวลชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

สำหรับรูปแบบการลดขนาดทางใบของปาล์มน้ำมันจะทำการลดขนาดที่โรงไฟฟ้า โดยใช้เครื่องสับทางใบปาล์มน้ำมันให้เป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งขนาดของเครื่องสับที่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 5, 7 และ 9 เมกะวัตต์ เท่ากับ 10 และ 20 ตัน/ชั่วโมง โดยเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นน้ำมันดีเซล [18]

3.3 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงิน

ผลการประเมินปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 5, 7 และ 9 เมกะวัตต์ เท่ากับ 29,565, 41,391 และ 53,217 เมกะวัตต์-ชั่วโมง/ปีตามลำดับ ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินจะใช้ข้อมูลและสมมติฐานทางด้านการเงิน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมมติฐานที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า

ข้อมูล	รายละเอียด	ขนาดโรงไฟฟ้า		
		5 MW	**7 MW**	**9 MW**
ด้านเทคนิค	**การดำเนินงานโรงไฟฟ้าระบบ Stoker boiler**			
	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า [13]	18%		
	ชั่วโมงการทำงานคิดที่ 75% (ชั่วโมง/ปี) [14]	6,570		
	ความสามารถในการผลิตไฟฟ้า (MWh/yr)	32,850	45,990	59,130
	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าคิดที่ร้อยละ 10 ของไฟฟ้าที่ผลิตได้ (MWh/yr) [13]	3,285	4,599	5,913
	ปริมาณไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้ (MWh/yr)	29,565	41,391	53,217
	เชื้อเพลิง			
	ค่าความร้อนต่ำของทางใบปาล์มน้ำมันที่ความชื้น 33.3% w.b. (MJ/kg) [17]	11.11		
	ค่าความร้อนต่ำของทางใบมะพร้าวที่ความชื้น 33.3% w.b. (MJ/kg) [17]	11.25		
	ปริมาณเชื้อเพลิงสูญเสีย	5%		
ด้านการเงิน	**การลงทุน**			
	ค่าลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้า (USD/kW) [21]	1,880		
	ค่าลงทุนเครื่องลดขนาด* (บาท/เครื่อง) [18]	840,000	1,470,000	
	ค่าลงทุนรถแทรกเตอร์สำหรับป้อนเชื้อเพลิง* (บาท/คัน) [22]	440,000		
	จำนวนเครื่องลดขนาด (เครื่อง)	2		
	จำนวนรถแทรกเตอร์สำหรับป้อนเชื้อเพลิง (คัน)	4		

ตารางที่ 4 (ต่อ) สมมติฐานที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า

ข้อมูล	รายละเอียด	ขนาดโรงไฟฟ้า		
		5 MW	**7 MW**	**9 MW**
ด้านการเงิน	อายุการใช้งานโรงไฟฟ้า (ปี)	20		
	อายุการใช้งานเครื่องลดขนาด* (ปี) [18]	10		
	อายุการใช้งานรถแทรกเตอร์สำหรับป้อนเชื้อเพลิง* (ปี)[22]	10		
	ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา			
	ค่าทางใบปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง** ณ ปีที่ 1 (บาท/ตัน)	1,000		
	ค่าพลังงานและแรงงานสำหรับการลดขนาด** ณ ปีที่ 1 (บาท/ตัน)	70	67	53
	เงินเดือน** ณ ปีที่ 1 (บาท)	3,228,000		
	ค่าเบี้ยเลี้ยง ค่าสวัสดิการ และค่าอบรมสัมมนา** ณ ปีที่ 1 (บาท)	645,600		
	ค่าน้ำประปา** ณ ปีที่ 1 (บาท) [23]	622,480	871,480	1,120,470
	ค่าบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า** ณ ปีที่ 1 (บาท) [23]	2,914,000	4,079,600	5,245,200
	ค่าบำรุงรักษาเครื่องลดขนาด** ณ ปีที่ 1 (บาท) [24]	67,200	117,600	
	ค่าบำรุงรักษารถแทรกเตอร์สำหรับป้อนเชื้อเพลิง** ณ ปีที่ 1 (บาท) [24]	140,800		
	ค่าเสื่อมราคา	คิดแบบเส้นตรงตามอายุโครงการ		
	ภาษีเงินได้ [25]	25% ของรายได้สุทธิก่อนหักภาษี		

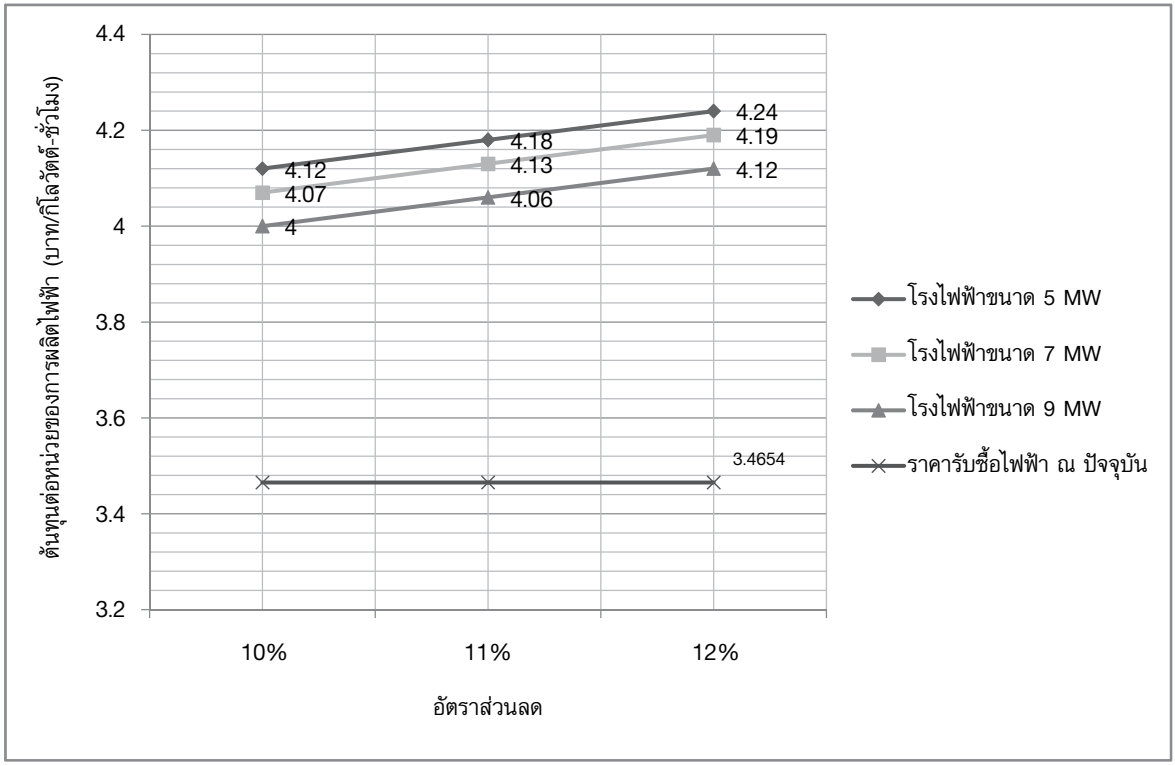
หมายเหตุ *ข้อมูลจากบริษัทผู้จำหน่าย

** กำหนดให้มีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ต่อปี

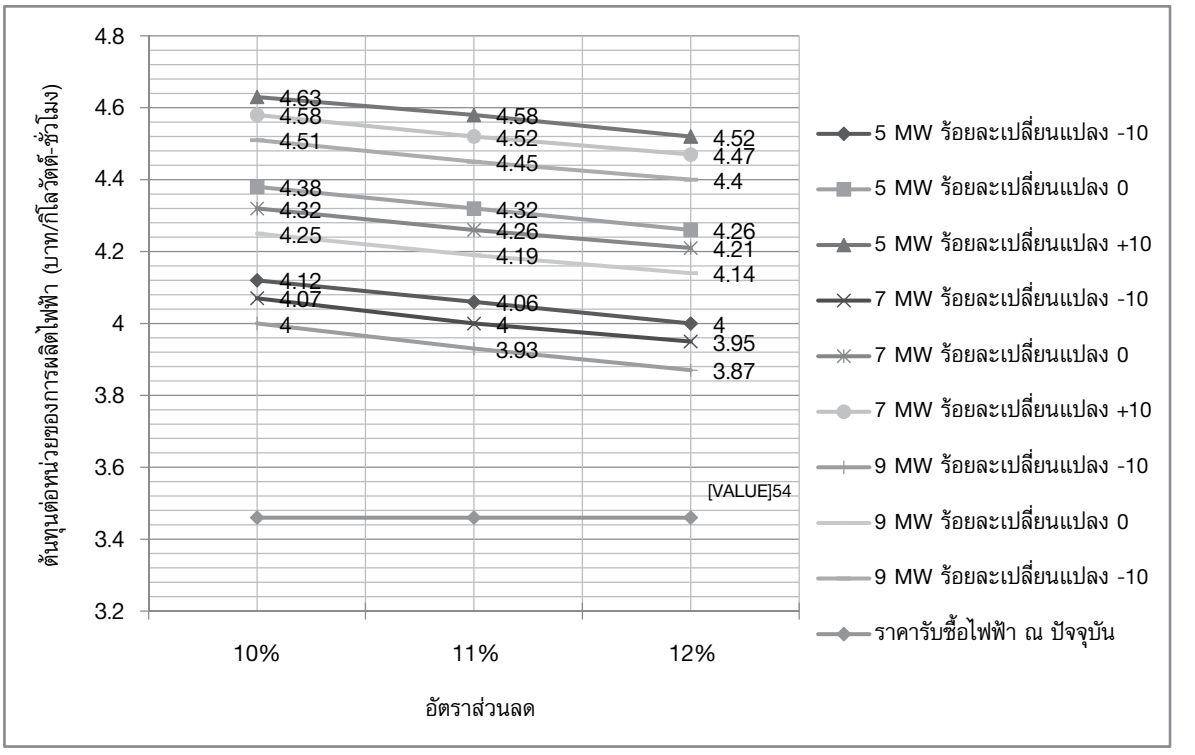
ผลการสำรวจค่าทางใบปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง พบว่ามีต้นทุนการเก็บรวบรวมที่ 400 บาท/ตัน ต้นทุนการขนส่งที่ 500 บาท/ตัน ในระยะทางที่ไม่เกิน 15 กิโลเมตร และต้นทุนของผลตอบแทนแก่ชาวสวน 100 บาท/ตัน เพราะฉะนั้น รวมค่าทางใบปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง เท่ากับ 1,000 บาท/ตัน

ผลการประเมินค่าพลังงานและแรงงานสำหรับการลดขนาดทางใบของปาล์มน้ำมันอยู่ระหว่าง 53 – 70 บาท/ตัน

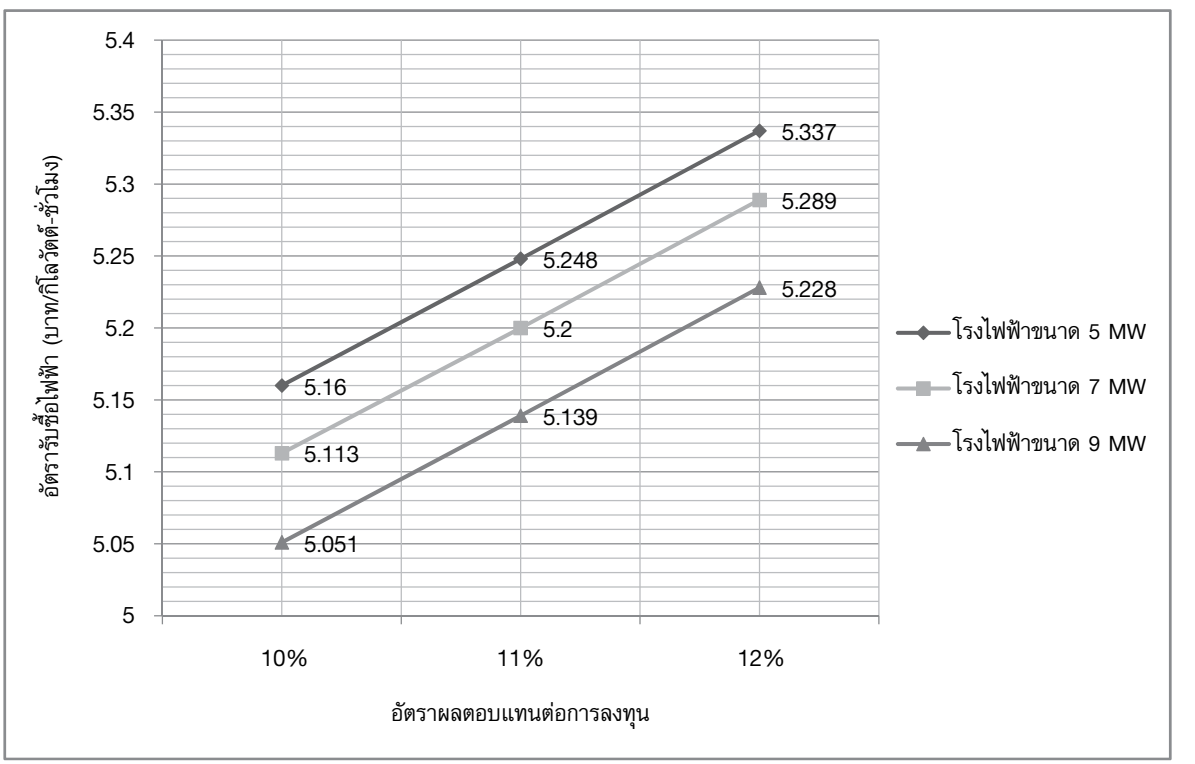
ผลการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 5, 7 และ 9 เมกะวัตต์ ที่อัตราส่วนลด10% -12% อยู่ในช่วง 4.12 – 4.24, 4.07 – 4.19 และ 4.00 – 4.12 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูปที่ 7 โดยต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนลดที่สูงขึ้น ซึ่งสัดส่วนต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าร้อยละ 70 เป็นค่าเชื้อเพลิง ผลการวิเคราะห์ความไวของค่าเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนแปลง พบว่ามีความไวต่ำ โดยเมื่อค่าเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 10 จะส่งผลให้ต้นทุนต่อหน่วยเปลี่ยนแปลงไปประมาณร้อยละ 6 ดังรูปที่ 8 เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ทางด้านการเงิน พบว่าราคารับซื้อไฟฟ้า ณ ปัจจุบันประมาณ 3.4654 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง [19, 20] ซึ่งเป็นราคารับซื้อไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงลักษณะผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก (Very small power producer, VSPP) ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ (Time of use: TOU Rate) (รวมค่า Ft กับค่าส่วนเพิ่มที่ได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลสำหรับเชื้อเพลิงมวลชีวภาพ) มีค่าต่ำกว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจึงทำให้การผลิตไฟฟ้าจากทางใบของปาล์มน้ำมันไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุนดังนั้นจึงได้ประเมินหาราคารับซื้อไฟฟ้าที่ส่งผลให้มีค่าอัตราผลตอบแทนต่อการลงทุนในอัตรา 10% -12% ที่สัญญารับซื้อไฟฟ้า 7 ปี และ 20 ปี ที่โรงไฟฟ้า 5 เมกะวัตต์ อยู่ในช่วง 5.160 – 5.337 และ 4.345 – 4.519 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมงตามลำดับ ดังรูปที่ 9 และ 10



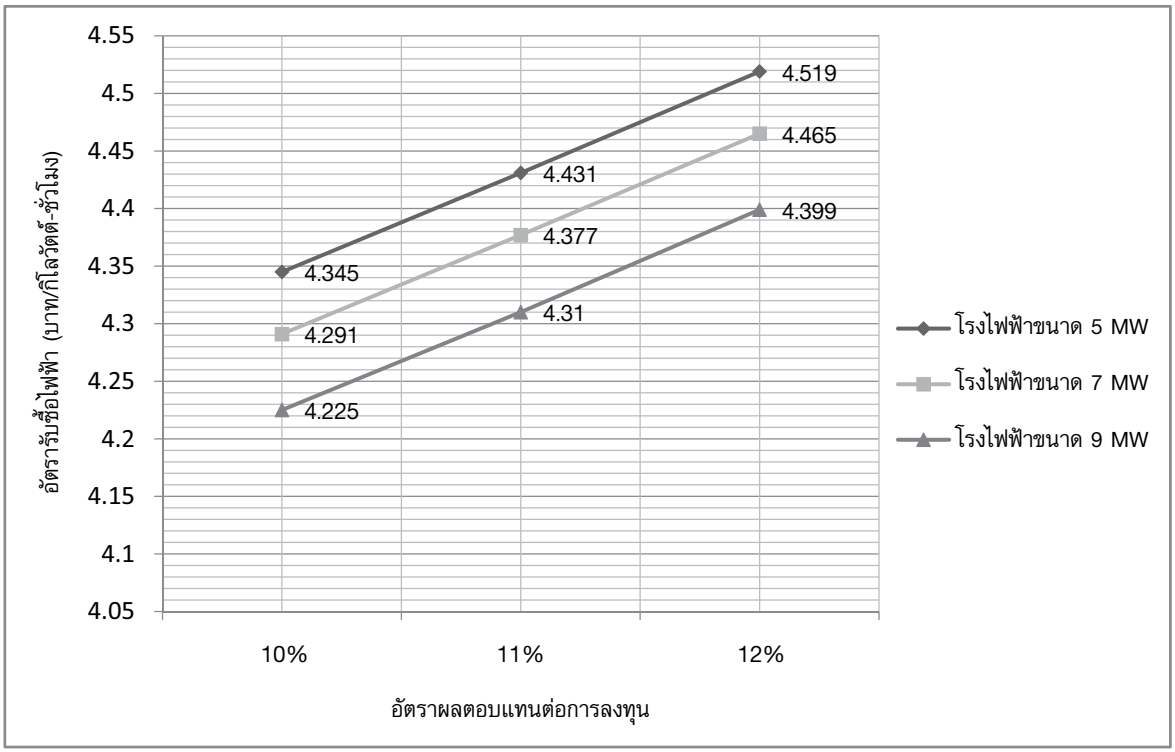
รูปที่ 7 กราฟต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยที่อายุโครงการ 20 ปี



รูปที่ 8 กราฟความไวของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยที่อายุโครงการ 20 ปี



รูปที่ 9 กราฟอัตรารับซื้อไฟฟ้าที่สัญญารับซื้อไฟฟ้า 7 ปี



รูปที่ 10 กราฟอัตรารับซื้อไฟฟ้าที่สัญญารับซื้อไฟฟ้า 20 ปี

3.4 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากทางใบปาล์มน้ำมันของจังหวัดทางภาคใต้ที่มีพื้นที่เพาะปลูกสูง

จากผลการศึกษาพบว่า จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และกระบี่ มีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันสูง คิดเป็นร้อยละ 68 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั้งประเทศ เมื่อพิจารณาสมมติฐานกำลังการผลิตไฟฟ้าพบว่า 3 จังหวัด มีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าถึง 240 เมกะวัตต์ เมื่อสมมุติให้ร้อยละของปริมาณทางใบปาล์มน้ำมันที่สามารถเก็บรวบรวมได้ เท่ากับ 60

4. สรุป

การประเมินศักยภาพทางใบของปาล์มน้ำมันและมะพร้าวสำหรับผลิตไฟฟ้า พบว่าภาคใต้มีพื้นที่การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันและมะพร้าวสูงคิดเป็นร้อยละ 86 และ 52 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั้งประเทศ ซึ่งจากการลงพื้นที่สำรวจในอำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าทางใบของปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้จากการตัดทะลายปาล์มทุก 15 วัน โดยต้องตัดทางใบอย่างน้อย 2 ทางใบ/ต้น จึงทำให้มีปริมาณของทางใบปาล์มน้ำมันที่แน่นอนและสามารถเก็บรวบรวมได้ง่ายกว่าทางใบของมะพร้าว เนื่องจากทางใบมะพร้าวได้จากการร่วงหล่นเองตามธรรมชาติแบบกระจัดกระจาย จึงทำให้ไม่สามารถเก็บรวบรวมมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ทั้งหมด ดังนั้น งานวิจัยจะศึกษาเฉพาะทางใบของปาล์มน้ำมันเท่านั้น

เนื่องจาก อำเภอพุนพิน มีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันสูงทำให้ระยะทางของการเก็บรวบรวมและขนส่งทางใบปาล์มน้ำมันสำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 5, 7 และ 9 เมกะวัตต์ มีระยะทางไม่เกิน 15 กิโลเมตร โดยมีรูปแบบของการเก็บรวบรวมและขนส่งเป็นลักษณะว่าจ้างบริษัทผู้รับเหมา ซึ่งการเก็บรวบรวมจะเก็บทางใบปาล์มน้ำมันที่ถูกปล่อยทิ้งไว้ในสวนจนแห้งระดับหนึ่ง โดยมีต้นทุนเชื้อเพลิง เท่ากับ 1,000 บาท/ตัน

สำหรับการลดขนาดทางใบของปาล์มน้ำมันจะทำที่โรงไฟฟ้า โดยต้นทุนพลังงานและแรงงานสำหรับการลดขนาดทางใบของปาล์มน้ำมันอยู่ระหว่าง 53 – 70 บาท/ตัน ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าขนาด 5, 7 และ 9 เมกะวัตต์ ที่อัตราส่วนลด 10% - 12% อยู่ในช่วง 4.12 – 4.24,

4.07 – 4.19 และ 4.00 – 4.12 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ ส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าจากทางใบของปาล์มน้ำมันไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุนดังนั้น จึงได้ประเมินหาราคารับซื้อไฟฟ้าที่ส่งผลให้มีค่าอัตราผลตอบแทนต่อการลงทุนในอัตรา 10% -12% ที่สัญญารับซื้อไฟฟ้า 7 ปี และ 20 ปี ที่โรงไฟฟ้า 5 เมกะวัตต์ อยู่ในช่วง 5.160 – 5.337 และ 4.345 – 4.519 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมงตามลำดับ

ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และกระบี่ มีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยประมาณถึง 240 เมกะวัตต์ ที่ร้อยละการเก็บรวบรวมทางใบปาล์มน้ำมันเท่ากับ 60

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ได้สนับสนุนมอบทุนอุดหนุนแก่งานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ คุณพันธวัฒน์ แก้วเกิด ที่ให้ความสะดวกเกี่ยวกับสถานที่ในการศึกษาเก็บข้อมูลและที่พักอาศัย ตลอดจนอาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่าน จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. Ministry of Energy, 2012, “Situation of Energy in Thailand”, [Online], Available: http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat__dede/sit__may__55/sit__5May55__Compatibility__Mode.pdf [15 August 2012]. (In Thai)

2. Singh, J., Panesar, B.S. and Sharma, S.K., 2012, “Optimum Analysis of Renewable Sources for Power Generation in Punjab”, *Indian Journal*, pp. 1-9.

3. Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, 2012, “The Power Development Plan of 2012-2030 (Revision3)”, [Online], Available: http://www.eppo.go.th/power/PDP2010-r3/PDP2010-Rev3-Cab19Jun2012-T.pdf [15 August 2012]. (In Thai)

4. Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, 2013, “Energy Statistic of Thailand”, [Online], Available: http://www.eppo.go.th/info/cd-2013/index.html [28 August 2012]. (In Thai)

5. Sajjakulnukit, B., Yingyuad, R., Maneekhao, V., Pongnarintasut, V., Bhattacharya, S.C. and Salam, P.A., 2005, “Assessment of Sustainable Energy Potential of Non-Plantation Biomass Resources in Thailand”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 29, pp. 214-224.

6. Srisovanna, P., 2004, “Thailand’s Biomass Energy”, *Electricity Supply Industry in Transition: Issues and Prospect for Asia*, pp. 16-35.

7. Yokoyama, S.Y., Ogi, T. and Nalampoom, A., 2000, “Biomass Energy Potential in Thailand”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 18, pp. 405-410.

8. Office of Agricultural Economics, Ministry of Agricultural and Cooperatives Bangkok, 2011, “Agricultural Statistics of Thailand 2011”, [Online], Available: http://www.oae.go.th/download/download__journal/yearbook54.pdf [24 October 2012]. (In Thai)

9. Sawangpol, K., Tia, W. and Chaiprasert, P., 2013, “A Feasibility Study of Power Generation Using Biogas from Cellulosic Materials”, *KMUTT Research and Development Journal*, Vol. 4, Oct-Dec 2013. (In Thai)

10. Anonymous, N.D., “Laboratory of Coconut”, [Online], Available: http://e-book.ram.edu/e-book/b/BO216(H)/BO216-9(H).pdf [24 October 2012]. (In Thai)

11. Department of Agricultural Extension, Ministry of Agricultural and Cooperatives, n.d., “Plam Oil”, [Online], Available: http://www.doae.go.th/library/html/putsetakit/palmoil.pdf [1 January 2013]. (In Thai)

12. Department of Agricultural Extension in Suratthani, Ministry of Agricultural and Cooperatives,

2011, “Agricultural Information in Suratthani”, [Online], Available: http://www.suratthani.doae.go.th/newweb/data/pagedata.htm [15 February 2013]. (In Thai)

13. Jepsen, F.K., Clausen, N.O., Andersen, N., Moller, L. and Techato, K., 2006, “Economic Analysis and Financing of Renewable Energy Development in Thailand”, *Department of Alternative Energy Development and Efficiency*, Ministry of Energy, pp. 92-93. (In Thai)

14. Delivand, M.K., Barz, M. and Gheewala, S.H., 2011, “Logistics Cost Analysis of Rice Straw for Biomass Power Generation in Thailand”, *Energy*, Vol. 36, pp. 1435-1441.

15. Singh, J., Panesar, B.S. and Sharma, S.K., 2008, “Energy Potential Through Agricultural Biomass Using Geographical Information System – A Case Study of Punjab” *Biomass and Bioenergy*, Vol. 32, pp. 301-307.

16. Tia, W., 1997, Power Analysis of Financial and Economic, “Energy Savings and Conservation in Industry for Small Industry Plants”, *Elizabeth Hotel*, pp. 7-9. (In Thai)

17. Pilot Plant Development and Training Institute, 2013, “Process and Environmental Analysis Center”, *KMUTT*. [23 April 2013].

18. Westernpart Intermach Co., Ltd, 2013, “Wood Chipper”, [Online], Available: http://www.westernpart.com/index.php [7 September 2013].

19. Metropolitan Electricity Authority, 2013, “VSPP Price”, [Online], Available: https://docs.google.com/viewer?url=http://www.mea.or.th/upload/download/file__1641e9228e0da19cf09c5a162f807643.pdf [7 October 2013]. (In Thai)

20. Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, 2013, “Adder Price”, [Online], Available: http://www.eppo.go.th/power/powerN/PICP/File/(1).pdf [10 October 2013]. (In Thai)

21. International Renewable Energy Agency, 2012, “Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series”, [Online], Available: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Overview__Renewable%20Power%20Generation%20Costs%20in%202012.pdf [7 September 2013].

22. Kubota Tractor Corporation, 2013, “Kubota Tractor Series: LP3008”, Thailand. [4 August 2013]. (In Thai)

23. Khongthai, A., 2004, “Potential of Using Rice Straw as Biomass Fuel”, *Master Degree of Engineering*, King Mongkuts University of Technology Thonburi Bangkok, pp. 63-65. (In Thai)

24. Edwards, W., N.D., “Estimating Farm Machinery Cost”, [Online], Available: http://www.extension.iastate.edu/publications/pm710.pdf [29 August 2013].

25. The Revenue Department, 2011, “Decree Issued Under the Revenue Regarding the Reduction of Income Tax rates (No.475)”, [Online], Available: http://www.rd.go.th/publish/38893.0.html [29 August 2013]. (In Thai)