Engng.J.CMU.(2011) 18 (1), 12-22

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การคัดเลือกแหล่งที่ตั้งของโรงไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อการผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

Site Selection of Small Power Plant for Electricity Generation from Agricultural Residues

ศรายุทธ จำรูญสวัสดิ์* และ ชัชวาลย์ ชัยชนะ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Sarayuth Jumroonsawatt and Chatchawan Chaichana

Department of Mechanical Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200 Thailand

*E-mail: jaxpan@hotmail.com

บทคัดย่อ

พลังงานจากชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงในการผลิตเป็นพลังงานทางเลือก แต่มีข้อเสียคือมีอยู่อย่างกระจัดกระจายและมีความหนาแน่นทางพลังงานต่ำจึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากแหล่งกำเนิดมายังจุดแปรรูปพลังงานสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคัดเลือกจุดแปรรูปพลังงานที่มีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อลดต้นทุนค่าขนส่ง ในการศึกษานี้ได้จัดทำแบบจำลองเพื่อใช้คัดเลือกจุดแปรรูปพลังงาน โดยแบ่งแบบจำลองออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนการศึกษาระบบโลจิสติกส์ เพื่อหาแหล่งที่ตั้งในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวลที่มีต้นทุนในการดำเนินการต่ำที่สุด ส่วนการศึกษาเทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบสองขั้นตอน เพื่อหากำลังการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมกับพื้นที่ และส่วนสุดท้ายเป็นการประเมินความเป็นไปได้ทางการเงินตลอดอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลของจังหวัดเชียงรายในการทดสอบแบบจำลอง

ผลการคำนวณพบว่า ในพื้นที่จังหวัดเชียงรายมีทำเลที่ตั้งที่สามารถใช้เป็นจุดแปรรูปพลังงานได้ 3 แห่ง คือ จุดแรกตั้งอยู่ที่ ตำบลท่าสาย อำเภอเมืองเชียงราย ซึ่งควรมีกำลังการผลิตไฟฟ้า 1.6 MW และมีอัตราผลตอบแทนทางการเงินตลอดอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้า คือ ที่อัตราลดค่า 5 % ค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 51,132,920 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 5.7 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 16 % จุดสองตั้งอยู่ที่ ตำบลสันทราย อำเภอแม่จัน ซึ่งควรมีกำลังการผลิตไฟฟ้า 5.2 MW และมีอัตราผลตอบแทนทางการเงิน คือ ที่อัตราลดค่า 5 % ค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 262,062,092 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 4.1 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 23 % จุดสุดท้ายตั้งอยู่ที่ ตำบลสันกลาง อำเภอพาน ซึ่งควรมีกำลังการผลิตไฟฟ้า 2.6 MW และมีอัตราผลตอบแทนทางการเงิน คือ ที่อัตราลดค่า 5 % ค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 98,429,171 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 4.9 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 19 %

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by
Faculty of Engineering
Chiang Mai University
All Rights Reserved

Abstract

Biomass is one of energy sources which is highly possible to produce alternative energy. The limitation of this kind of energy source is that it spreads all over in wide area and the energy intensity is low. This results in high transportation cost from the source to the energy transforming site. Therefore, it is necessary to select energy transforming site for economic suitability for reduction in

transportation cost. A model to select energy transforming site was developed into 3 parts; 1) logistics system section: to search for electricity generation site from biomass source that has lowest cost. 2) two-stage fluid bed pyrolysis and gasification unit: to study the most suitable electricity generating power for the site, and 3) power-plant lifetime financial assessment using information of Chiang Rai as model test.

It was found that there are three proper sites in Chiang Rai which can be utilized as the energy transformation sites as mentioned below.

1) The first site is located at Tha Sai Sub-district in Mueang Chiang Rai District where there should be 1.6 MW of electricity production capacity for this site and the discount rate throughout the utilization life is at 5%. In addition, net present value (NPV) should be set for 51,132,920 Baht, while pay-back period must be within 5.7 years, and internal rate of return is 16%.

2) The second site is located at San Sai Sub-district in Mae Chan District where there should be 5.2 MW of Electricity Production Capacity for this site and the discount rate is 5%. Moreover, net present value (NPV) should be set for 262,062,092 Baht, while pay-back period must be within 4.1 years, and internal rate of return is 23%.

3) The final site is located at San Klang Sub-district in Phan District where there should be 2.6 MW of Electricity Production Capacity for this site and the discount rate is 5%. Besides, net present value (NPV) should be set for 98,429,171 Baht, pay-back period must be within 4.9 years, and internal rate of return is 19%.

Keyword; Biomass energy/ Optimal location/ Power generation/ Economic analysis/ Logistics

1. บทนำ

ประเทศไทยมีแหล่งทรัพยากรพลังงานค่อนข้างน้อย ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงานของประเทศ การจัดหาพลังงานให้สอดคล้องกับความต้องการเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะจากแหล่งพลังงานภายในประเทศ ซึ่งควรเป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาถูกสะอาด และมีปริมาณมากเพียงพอตลอดไป แหล่งพลังงานหมุนเวียนจากชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงในการผลิตเป็นพลังงานทางเลือก เพื่อทดแทนการพึ่งพาพลังงานเชิงพาณิชย์ประเภทฟอสซิลจากต่างประเทศที่นับวันจะมีราคาสูงและหายากขึ้น

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีศักยภาพสูงในการนำชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นพลังงาน โดยเฉพาะจากข้าวมีส่วนเหลือทิ้งเทียบเท่าพลังงาน 4,239 กิโลตันน้ำมันดิบต่อปี [1] ซึ่งชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาแปรรูปให้เป็นเชื้อเพลิง หรือพลังงานตามกรรมวิธีที่ต่างๆ [2] สิ่งที่ท้าทายก็คือ การหาแนวทางในการนำชีวมวลเหลือทิ้งมาใช้อย่างเหมาะสม โดยคำนึงถึงการรวบรวมและขนส่งชีวมวลที่เหมาะสม [3] การจัดหาเทคโนโลยีการแปรรูปพลังงานชีวมวลที่เหมาะสมกับท้องถิ่น [4] และการพิจารณามูลค่าสุทธิที่เกิดขึ้นในปัจจุบันจากการผลิตไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้า [5] เพื่อหาแหล่งที่ตั้งที่เหมาะสมและขนาดโรงไฟฟ้าที่เหมาะสมกับพื้นที่ [6]

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษา สำรวจและรวบรวมข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับแหล่งพลังงานหมุนเวียนจากชีวมวลในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย เพื่อใช้ในการกำหนด คัดเลือกแหล่งที่ตั้งในการแปรรูปพลังงานและเทคโนโลยีด้านพลังงานในรูปแบบที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงความสอดคล้องของสภาพการดำเนินชีวิตของประชาชนในพื้นที่ และความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อการพัฒนาแหล่งพลังงานอย่างยั่งยืนต่อไป

ในการศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ แสวงหาแหล่งที่ตั้งในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากชีวมวลที่มีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Perpina *et al.* [3] เสนอวิธีการเกี่ยวกับโลจิสติกส์และกลยุทธ์ในการขนส่งมาใช้หาที่ตั้งของโรงงานผลิตพลังงานจากชีวมวล วิธีนี้ได้ใช้ระบบ GIS ในการจัดหาข้อมูลระยะกระจายตัวของชีวมวลเหลือทิ้ง ซึ่งพิจารณา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Faculty of Engineering Chiang Mai University Copyright© by All Rights Reserved

พื้นที่แบบโครงตาข่าย โดยพื้นที่ที่มีความเป็นไปได้นั้น จะขึ้นอยู่กับ เทคโนโลยี เศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และข้อบังคับทางสังคม ในการระบุพื้นที่ดีที่สุดนั้นจำเป็นต้องหา เวลา ระยะทาง และค่าใช้จ่ายในการขนส่งชีวมวลตามเส้นทางถนน

Krukanont and Prasertsan [6] ได้ศึกษาวิธีการจัดหาแหล่งที่ตั้งโรงไฟฟ้าจากศักยภาพของไม้ยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทย วิธีนี้ได้ใช้ระบบ GIS ในการจัดหาข้อมูลความหนาแน่นของเชื้อเพลิงไม้ยางพารา และได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ดังนี้

1.) จัดหาเชื้อเพลิงให้ได้มากที่สุด

2.) แหล่งที่ตั้งจะถูกพิจารณาตามระยะทาง 700 km ของการเชื่อมโยงถนนในท้องถิ่น

3.) เชื้อเพลิงจะถูกจัดหาในขอบเขตบริเวณไม่เกิน 35 km จากจุดศูนย์กลางของแหล่งที่ตั้งโรงไฟฟ้า

Reche *et al.* [5] เสนอวิธีการหาแหล่งที่ตั้งที่ดีที่สุดและบริเวณแหล่งจัดหาเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้า 3 เทคโนโลยีทางเลือก วิธีนี้ได้ใช้การจัดทำบัญชีข้อมูลเชื้อเพลิง ซึ่งมีความซับซ้อนมาก เช่น ลักษณะเฉพาะของเชื้อเพลิงชีวมวลในท้องถิ่น, ค่าขนส่ง, ระยะห่างของสายส่งไฟฟ้า และอื่นๆ ไม่เพียงเพียงแต่ตำแหน่งที่ตั้งและแหล่งจัดหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสม แต่ต้องพิจารณามูลค่าสุทธิที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน และการผลิตไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการดำเนินชีวิตของประชากรในพื้นที่ด้วย

Fiedler *et al.* [7] เสนอวิธีการวางแผนและแบบจำลองที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้กลยุทธ์ในการออกแบบระบบจัดส่งชีวมวล วิธีนี้ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมที่สุดของระบบจัดส่งชีวมวล โดยมีปัจจัยหลักที่สำคัญ คือ

- สถานที่ตั้งของโรงงานเปลี่ยนสภาพชีวมวล
- ความต้องการชีวมวลต่อปี
- คุณสมบัติของชีวมวล

และในการออกแบบระบบนี้ได้ใช้ระบบ GIS มาช่วยในการหาตำแหน่งของแหล่งชีวมวล เพื่อให้การออกแบบระบบจัดส่งง่ายยิ่งขึ้น

Transport Studies Group, University of Westminster. [8] เสนอทางเลือกเกี่ยวกับห่วงโซ่อุปทานของชีวมวลเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงไฟฟ้า วิธีนี้ได้นำข้อมูล ปริมาณ เวลา ของแหล่งชีวมวลแต่ละชนิดในแต่ละช่วงฤดูกาล มาทำการวิเคราะห์ในแบบจำลองห่วงโซ่อุปทานที่ได้ออกแบบไว้ใน spreadsheet ลักษณะของแบบจำลองนี้ประกอบไปด้วยรายละเอียดของทุกกิจกรรมที่ดำเนินการในการจัดส่งตั้งแต่ การเก็บเกี่ยวไปจนถึงการขนส่งลำดับสุดท้ายสู่โรงไฟฟ้า ซึ่งแบบจำลองได้รับการพัฒนาให้สามารถใช้กับชีวมวลที่มีความแตกต่างได้

Allen *et al.* [9] กล่าวถึงห่วงโซ่อุปทานและราคาในการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ วิธีนี้ได้ใช้ระบบโลจิสติกส์เข้ามาช่วยในการจัดการโซ่อุปทานของชีวมวล 4 ชนิดในประเทศอังกฤษ คือ ไม้จากป่า ไม้แสม ฟาง และหญ้ามิสแคนตัส ในระบบห่วงโซ่อุปทานได้มีการพิจารณากระบวนการที่สำคัญคือ การเก็บรักษา การขนส่ง การจัดการ การเก็บเกี่ยวหรือลดขนาด และจัดซื้อวัตถุดิบ โดยใช้ spreadsheet package เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ

Caputo *et al.* [10] เสนอวิธีประหยัดที่เป็นไปได้สำหรับการนำชีวมวลไปผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้กระบวนการ combustion และ gasification ช่วงกำลังผลิต 5-50 MW วิธีนี้ได้มีการพิจารณาค่าการลงทุนรวม ภาษีของการขายพลังงาน และค่าการดำเนินงานรวมถึงรายละเอียดในการหาค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ และได้มีการวิเคราะห์ผลกระทบของโลจิสติกส์ต่อกำไรของโรงไฟฟ้าชีวมวล ซึ่งมีประเด็นหลักคือ ราคาของยานพาหนะในการขนส่งแต่ละชนิด ความสามารถในการบรรจุของยานพาหนะ ราคาของชีวมวล และรูปแบบการกระจายตัวของแหล่งชีวมวล

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Rights Reserved

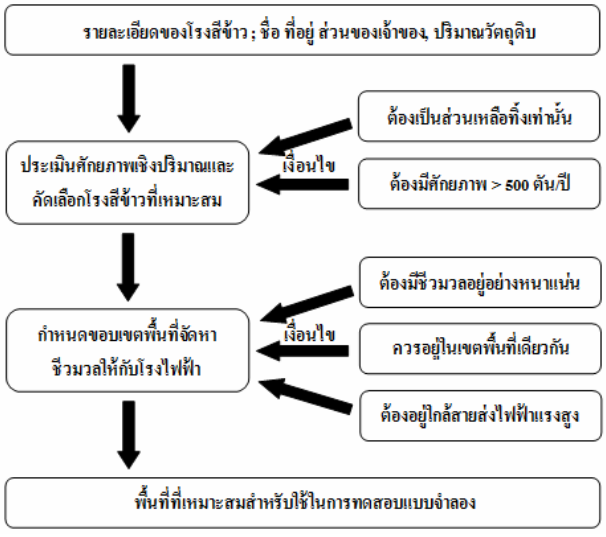
3. วิธีการวิจัย

3.1 การเก็บข้อมูลและกำหนดเขตพื้นที่ศึกษา

ชีวมวลที่น่าสนใจ คือ แกลบเนื่องจากมีศักยภาพสูงในการผลิตเป็นพลังงาน และชีวมวลส่วนใหญ่ยังไม่ได้มีการนำมาใช้งาน

ในงานวิจัยนี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูลแหล่งวัตถุดิบ (โรงสีข้าว) ในเขตพื้นที่ศึกษาและทำการประเมินศักยภาพเชิงปริมาณของชีวมวล เพื่อคัดเลือกแหล่งวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยพิจารณาจากแหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงเป็นหลัก (ศักยภาพสูง คือ ต้องมีกำลังการผลิตแกลบไม่ต่ำกว่า 500 ตัน/ปี)

สำหรับการกำหนดเขตพื้นที่ศึกษานั้นจะมองในส่วนของต้นทุนการขนส่งเป็นหลัก ซึ่งได้กำหนดเงื่อนไขการพิจารณาขอบเขตพื้นที่รวบรวมจัดหาชีวมวลที่เหมาะสมไว้ 3 ข้อ ดังนี้ 1.) เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพของชีวมวลอยู่อย่างหนาแน่น 2.) พื้นที่จัดหาชีวมวลควรอยู่ในเขตพื้นที่เดียวกัน 3.) พื้นที่ต้องอยู่ใกล้สายส่งไฟฟ้าแรงสูง โดยจะแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ขอบเขตพื้นที่ศึกษาดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา

3.2 การเลือกทำเลที่ตั้งโรงไฟฟ้า

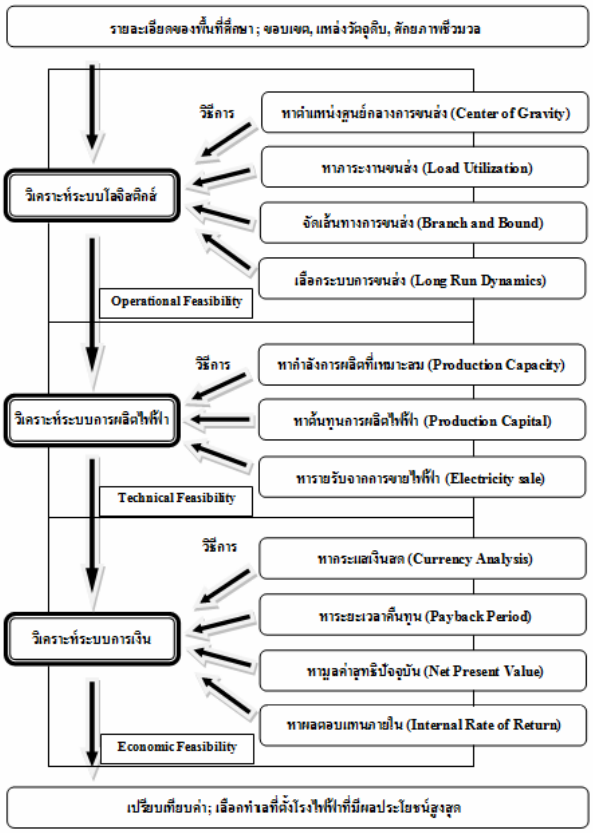
ในงานวิจัยนี้ได้จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาแหล่งที่ตั้งที่เหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากชีวมวลตามกรอบแนวคิดการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (Project Feasibility Study) โดยการสร้างแบบจำลองห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Modeling) ของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล เพื่อใช้พิจารณาความเหมาะสมและการประเมินผลประโยชน์เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ใช้ไปในการลงทุนและดำเนินงานของโครงการ ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญของแบบจำลองแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนการศึกษาระบบโลจิสติกส์ เป็นการนำข้อมูลแหล่งวัตถุดิบชีวมวลในพื้นที่ศึกษามาทำการวิเคราะห์ระบบการขนส่ง เพื่อหาแหล่งที่ตั้งในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวลที่มีต้นทุนในการดำเนินการต่ำที่สุด ส่วนการศึกษาเทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบสองขั้นตอน เป็นการนำข้อมูลศักยภาพชีวมวลในพื้นที่ศึกษามาทำการวิเคราะห์อัตราส่วนการบริโภคเชื้อเพลิงของระบบ เพื่อหากำลังการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมกับพื้นที่ และเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าของระบบ ส่วนสุดท้ายเป็นการประเมินความเป็นไปได้ทางการเงินตลอดอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้า เป็นการนำข้อมูลอัตราผลตอบแทนทางการเงินและค่าใช้จ่ายที่ใช้ไปในการลงทุนและดำเนินงานของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาแหล่งที่ตั้งในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีผลประโยชน์สูงสุด

3.3 การสร้างแบบจำลอง

ในงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองสำหรับคัดเลือกแหล่งที่ตั้งในการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กจากชีวมวล โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และประมวลผลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรมเฉพาะทาง LINGO 10 ซึ่งรูปแบบการสร้างแบบจำลองนี้ อาศัยเทคนิคการจำลองห่วงโซ่อุปทานของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลตั้งแต่ขั้นตอน การรวบรวมจัดหา การผลิต และการขายไฟฟ้า ซึ่งลักษณะของแบบจำลองเป็นการพิจารณา 3 ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับระบบห่วงโซ่อุปทาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All Rights Reserved

คือ ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค และความเป็นไปได้ทางด้านการปฏิบัติงาน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ โดยรูปแบบการสร้างแบบจำลองจะนำเสนอดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แบบจำลองการคัดเลือกแหล่งที่ตั้งในการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กจากชีวมวล

จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลองถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1.) การวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งโรงไฟฟ้าที่มีต้นทุนในการดำเนินการทางด้านโลจิสติกส์ต่ำที่สุด ซึ่งจะประกอบไปด้วย ตำแหน่งที่ตั้งที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด เส้นทางและระบบการขนส่งที่เหมาะสม 2.) การวิเคราะห์ระบบการผลิตไฟฟ้า ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยทางด้านเทคนิคและปัจจัยทางด้านค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยอาศัยการจำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมต่างๆ ของระบบ เพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่างๆ ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์กำลังการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสม ต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้า และอัตราผลตอบแทนทางการเงิน 3.) การวิเคราะห์ระบบการเงิน ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบความสำคัญหรือค่าของโครงการในทางผลประโยชน์และค่าใช้จ่าย โดยจะเป็นการเปรียบเทียบในแต่ละช่วงเวลาของโครงการ (กระแสเงินสด), เปรียบเทียบกันด้วยค่าเงินปัจจุบัน และการเปรียบเทียบที่สะท้อนคุณค่าของโครงการโดยใช้ Net Present Value, Payback Period และInternal Rate of Return

สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองนั้น จะอาศัยหลักสมการทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณหาผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ในส่วนต่างๆ โดยผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมรูปแบบสมการที่เกี่ยวข้องและบางส่วนได้สร้างรูปแบบสมการขึ้นมาใหม่ ซึ่งได้นำเสนอรูปแบบสมการทั้งหมดในงานวิจัยนี้

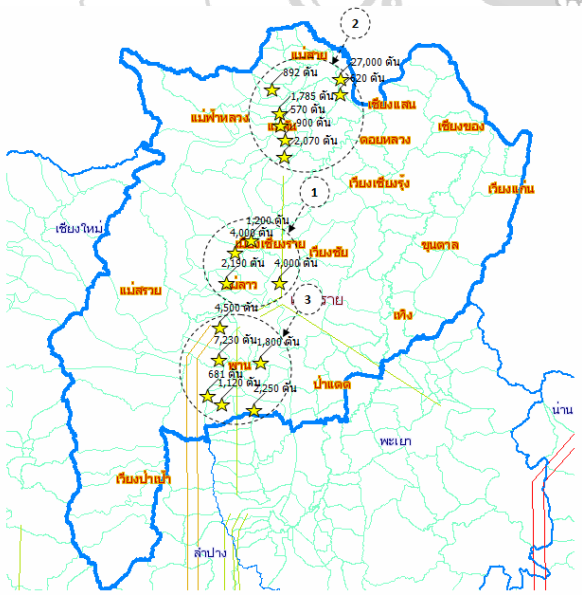
4. การทดสอบแบบจำลอง

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดพื้นที่ศึกษาในขอบเขตของจังหวัดเชียงราย โดยจังหวัดเชียงรายตั้งอยู่ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย บริเวณเส้นรุ้งที่ 19 องศา 20 ลิปดา 30 ฟิลิปดาเหนือ เส้นแวงที่ 99 องศา 15 ลิปดา 45 ฟิลิปดาตะวันออก ระดับความสูงของพื้นที่อยู่สูง 1,500 - 2,000 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีพื้นที่ 11,678.369 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 7,298,981 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรม พืชไร่ 372,884 ไร่ และที่นา 1,188,560 ไร่ มีประชากรประมาณ 1,003,174 คน รายได้เฉลี่ย 31,931.56 บาท/คน/ปี การคมนาคมมีถนนสายหลักที่ตัดผ่านตลอดความยาวตั้งแต่เหนือลงมา มีสภาพผิวถนนที่ดีสามารถใช้งานได้ตลอดปี และมีสายไฟฟ้าแรงสูงตัดผ่านเป็นทางยาวตลอดแนว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Rights Reserved

4.1 ผลและการวิเคราะห์ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลโรงสีข้าวทั้งหมดในพื้นที่จังหวัดเชียงราย [11] และทำการประเมินศักยภาพเชิงปริมาณของชีวมวลแกลบ พบว่า มีโรงสีข้าวที่มีศักยภาพสูง (ศักยภาพสูง คือ มีกำลังการผลิตแกลบไม่ต่ำกว่า 500 ตัน/ปี) สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 17 โรงสี ซึ่งอยู่อย่างกระจัดกระจายใน 3 อำเภอ คือ อำเภอเมืองเชียงราย, อำเภอพาน และอำเภอแม่จัน โดยมีศักยภาพวัตถุดิบชีวมวลแกลบทั้งหมด 62,808 ตัน/ปี ซึ่งจะแสดง ตำแหน่งพิกัดของแหล่งวัตถุดิบ ศักยภาพชีวมวล และขอบเขตพื้นที่ศึกษา ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ตำแหน่งพิกัดของแหล่งวัตถุดิบ ศักยภาพชีวมวล และขอบเขตพื้นที่ศึกษา

และจากการพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทดสอบแบบจำลอง (เงื่อนไขคือ 1.เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพของชีวมวลอยู่อย่างหนาแน่น 2.พื้นที่จัดหาชีวมวลควรอยู่ในเขตพื้นที่เดียวกัน 3.พื้นที่ต้องอยู่ใกล้สายส่งไฟฟ้าแรงสูง) พบว่า มีพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทดสอบแบบจำลอง 3 พื้นที่ คือ พื้นที่แรกตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองเชียงราย มีแหล่งวัตถุดิบ (โรงสีข้าว) ทั้งหมด 4 แห่ง มีศักยภาพวัตถุดิบชีวมวลแกลบ 11,390 ตัน/ปี พื้นที่สองตั้งอยู่ในเขตอำเภอแม่จันมีแหล่งวัตถุดิบทั้งหมด 7 แห่ง มีศักยภาพวัตถุดิบชีวมวลแกลบ 33,837 ตัน/ปี และพื้นที่สุดท้ายตั้งอยู่ในเขตอำเภอพานมีแหล่งวัตถุดิบทั้งหมด 6 แห่ง มีศักยภาพวัตถุดิบชีวมวลแกลบ 17,581 ตัน/ปี

4.2 ผลและการวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์

ผลการคำนวณหาตำแหน่งที่ตั้งของ Center of Gravity [12] พบว่า ในพื้นที่จังหวัดเชียงรายมีทำเลที่ตั้งที่สามารถใช้เป็นจุดแปรรูปพลังงานได้ 3 แห่ง คือ จุดแรกตั้งอยู่ที่ ตำบลท่าสาย อำเภอเมืองเชียงราย จุดสองตั้งอยู่ที่ตำบลสันทราย อำเภอแม่จัน และจุดสุดท้ายตั้งอยู่ที่ ตำบลสันกลาง อำเภอพาน โดยจะแสดงตำแหน่งพิกัดโรงไฟฟ้าและระยะทางรวมในการขนส่งวัตถุดิบให้กับโรงไฟฟ้า ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตำแหน่งพิกัดโรงไฟฟ้าและระยะทางรวมในการขนส่งวัตถุดิบให้กับโรงไฟฟ้า

	พื้นที่ศึกษา 1	พื้นที่ศึกษา 2	พื้นที่ศึกษา 3
Latitude	19°52'33.1"	20°10'47.8"	19°35'11.2"
Longitude	99°49'52.9"	99°52'52.3"	99°44'41.2"
Total distance (d_n)	5683	19566	29148

จากผลการวิเคราะห์ขอบเขตพื้นที่ศึกษาและผลการหาตำแหน่งที่ตั้งของโรงไฟฟ้าทำให้เราทราบปริมาณวัตถุดิบทั้งหมดที่จะต้องขนส่งให้กับโรงไฟฟ้า ซึ่งในแต่ละพื้นที่ศึกษาก็จะมีปริมาณวัตถุดิบที่ต้องขนส่งแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับศักยภาพชีวมวลในพื้นที่ และในบางพื้นที่มีตำแหน่งที่ตั้งโรงไฟฟ้าติดกับแหล่งวัตถุดิบพอดีทำให้สามารถลดการขนส่งลงได้ 1 จุด โดยผลการคำนวณหาภาระงานขนส่งของ Load Utilization [13] พบว่า จากการตั้งสมมุติฐานในการขนส่งได้เต็มปริมาตรของรถบรรทุก และได้ทดสอบหาปริมาตรการบรรทุกกับรถบรรทุก 2 ชนิด ซึ่งได้ผลการคำนวณหาปริมาณงานของรถบรรทุกในแต่ละพื้นที่ศึกษา ดังตารางที่ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Rights Reserved

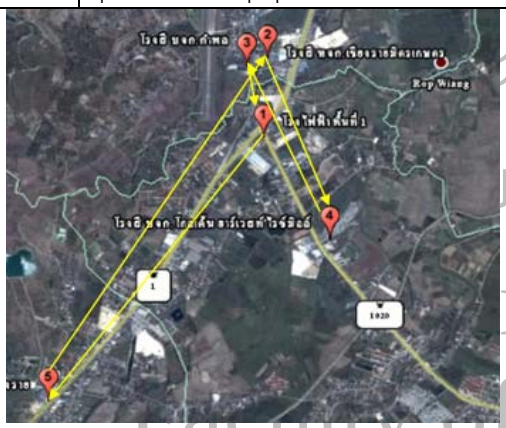
ตารางที่ 2 ผลการคำนวณหาปริมาณงานของรถบรรทุก

ชนิดรถบรรทุก	ปริมาตรการบรรทุก (m^3)	ปริมาณงาน (รอบ/ปี)		
		พื้นที่ 1	พื้นที่ 2	พื้นที่ 3
รถ 6 ล้อ	11.286	6,728	4,039	6,114
รถ 10 ล้อ	28.158	2,697	1,619	2,451

และจากผลการจัดเส้นทางการขนส่งของ Land and Doig [14] พบว่า เส้นทางที่สั้นที่สุดในการขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบหลายแหล่งไปยังโรงไฟฟ้าแห่งเดียว ของแต่ละพื้นที่ศึกษามีดัง ตารางที่ 3 – 5 นี้

ตารางที่ 3 แสดงพื้นที่ศึกษา 1

พื้นที่ศึกษา 1	
กำหนดให้	ความหมาย
1	จุดพิกัดโรงไฟฟ้าที่คำนวณได้
2	จุดพิกัดโรงสีข้าว หจก.เชียงรายมิตรเกษตร
3	จุดพิกัดโรงสีข้าว บจก.กำพล
4	จุดพิกัดโรงสีข้าว บจก.โกลเด้นฮาร์เวสท์โรซ์มิลล์
5	จุดพิกัดโรงสีข้าวชุมนุมสหกรณ์จังหวัดเชียงราย

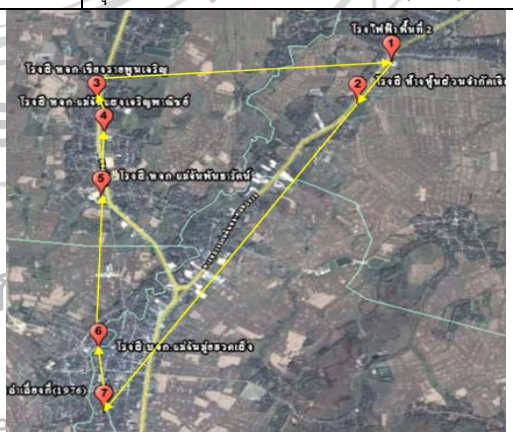


*ระยะทางรวม = 13.4 km เวลาขนส่งรวม = 0.20 hr

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า เส้นทางในการจัดหาวัตถุดิบให้กับโรงไฟฟ้าเริ่มต้นจาก โรงไฟฟ้า (1), โรงสีข้าวชุมนุมสหกรณ์จังหวัดเชียงราย (5), โรงสีข้าว หจก.เชียงรายมิตรเกษตร (2), โรงสีข้าว บจก.โกลเด้นฮาร์เวสท์โรซ์มิลล์ (4), โรงสีข้าว บจก.กำพล (3) และกลับมายังโรงไฟฟ้า (1) โดยมีระยะทางการขนส่งรวม 13.4 กิโลเมตร และใช้เวลาในการขนส่งรวม 0.20 ชั่วโมง (ควรเพิ่มเวลาในการขนย้ายวัตถุดิบขึ้นรถบรรทุกด้วย ซึ่งอาจพิจารณาจากปริมาณวัตถุดิบที่ต้องขนย้ายและอัตราการบรรทุกของรถที่ใช้ขนส่งวัตถุดิบ ยกตัวอย่างเช่น รถบรรทุก 6 ล้อ + 20 นาที และ รถบรรทุก 10 ล้อ + 30 นาที)

ตารางที่ 4 แสดงพื้นที่ศึกษา 2

พื้นที่ศึกษา 2	
กำหนดให้	ความหมาย
1	จุดพิกัดโรงไฟฟ้าที่คำนวณได้
2	จุดพิกัดโรงสีข้าว หจก.เจียงท่งเส็ง
3	จุดพิกัดโรงสีข้าว หจก.เชียงรายพูนเจริญ
4	จุดพิกัดโรงสีข้าว หจก.แม่จันแสงเจริญพานิช
5	จุดพิกัดโรงสีข้าว หจก.แม่จันพันธารัตน์
6	จุดพิกัดโรงสีข้าว บจก.แม่จันมุ่ยฮวดเส็ง
7	จุดพิกัดโรงสีข้าว บจก.เหล่าเลี่ยงกี่ (1976)



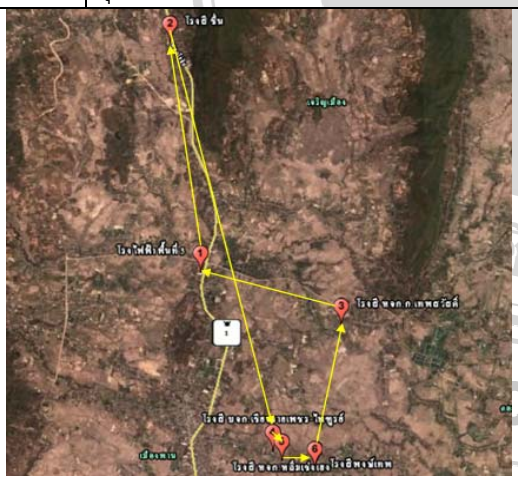
*ระยะทางรวม = 18.1 km เวลาขนส่งรวม = 0.25 hr

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า เส้นทางในการจัดหาวัตถุดิบให้กับโรงไฟฟ้าเริ่มต้นจาก โรงไฟฟ้า (1), โรงสีข้าว หจก.เจียงท่งเส็ง (2), โรงสีข้าว บจก.เหล่าเลี่ยงกี่ (1976) (7), โรงสีข้าว บจก.แม่จันมุ่ยฮวดเส็ง (6), โรงสีข้าว หจก.แม่จันพันธารัตน์ (5), โรงสีข้าว หจก.แม่จันแสงเจริญพานิช (4), โรงสีข้าว หจก.เชียงรายพูนเจริญ (3) และกลับกลับมายังโรงไฟฟ้า (1) โดยมีระยะทางการขนส่งรวม 18.1 กิโลเมตร และใช้เวลาในการขนส่งรวม 0.25 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved
Faculty of Engineering

ตารางที่ 5 แสดงพื้นที่ศึกษา 3

พื้นที่ศึกษา 3	
กำหนดให้	ความหมาย
1	จุดพิกัดโรงไฟฟ้าที่คำนวณได้
2	จุดพิกัดโรงสีข้าวชื่น
3	จุดพิกัดโรงสีข้าว หจก.ก.เทพสวัสดิ์
4	จุดพิกัดโรงสีข้าว บจก.เชียงรายเพชร-ไพรฑูรย์
5	จุดพิกัดโรงสีข้าว หจก.หลิ่มเซ่งเฮง
6	จุดพิกัดโรงสีข้าวพงษ์เทพ

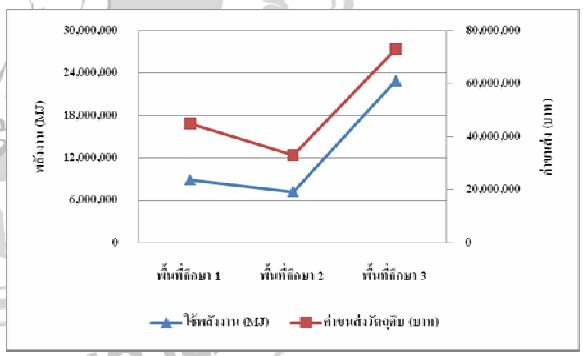


*ระยะทางรวม = 38 km เวลาขนส่งรวม = 0.45 hr

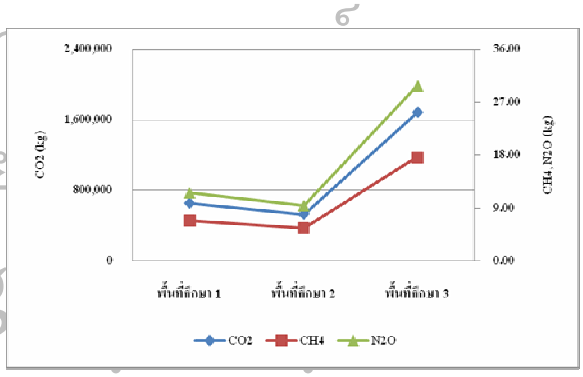
จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่า เส้นทางในการจัดหาวัตถุดิบให้กับโรงไฟฟ้าเริ่มต้นจาก โรงไฟฟ้า (1), โรงสีข้าวชื่น (2), โรงสีข้าว บจก.เชียงรายเพชร-ไพรฑูรย์ (4), โรงสีข้าว หจก.หลิ่มเซ่งเฮง (5), โรงสีข้าวพงษ์เทพ (6), โรงสีข้าว หจก.ก.เทพสวัสดิ์ (3), และกลับกลับมายังโรงไฟฟ้า (1) โดยมีระยะทางการขนส่งรวม 38 กิโลเมตร และใช้เวลาในการขนส่งรวม 0.45 ชั่วโมง

จากผลการวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ของ Long-Run/Dynamics [15] พบว่า ระบบขนส่งวัตถุดิบโดยใช้รถบรรทุก 6 ล้อ มีจุดคุ้มทุนมากที่สุด เนื่องจากอัตราการบรรทุกของรถบรรทุก 6 ล้อ ซึ่งมีการต่อเติมกระบะทำให้ขนส่งวัตถุดิบได้เพิ่มมากขึ้น และในทางกลับกันอัตราการบรรทุกของรถบรรทุก 10 ล้อ นั้นไม่สามารถต่อเติมกระบะได้เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านกฎหมาย ดังนั้นการขนส่งด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ จึงมีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำกว่า

สำหรับในแต่ละพื้นที่ศึกษานั้น ก็จะมีต้นทุนการขนส่งที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ ปริมาณวัตถุดิบ ระยะทาง เวลาในการขนส่ง และการใช้พลังงาน ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดต้นทุนในระบบโลจิสติกส์ โดยจะแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการขนส่งวัตถุดิบตลอดอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้าในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจากการขนส่งของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการขนส่งของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

4.3 ผลและการวิเคราะห์ระบบการผลิตไฟฟ้า

จากผลการวิเคราะห์กำลังการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมด้วยการหาอัตราส่วนระหว่างศักยภาพของวัตถุดิบในพื้นที่และความต้องการใช้วัตถุดิบของเครื่องจักรผลิตกระแสไฟฟ้าระบบ Two-Stage Fluid Bed Pyrolysis

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright Faculty of Engineering Chiang Mai University All Rights Reserved

and Gasification Unit พบว่า ในแต่ละพื้นที่ศึกษามีกำลังการผลิตที่เหมาะสม ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 กำลังการผลิตและเวลาการทำงานของเครื่องจักรที่เหมาะสมของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

พื้นที่ศึกษา	กำลังการผลิต (MW)	จำนวนวันทำงาน (วัน/ปี)	เวลาเดินเครื่องจักร (ชม.)
1	1.6	261	13
2	5.2	261	13
3	2.6	261	13
รวม	9.4		

จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าจำนวนวันทำงานและเวลาเดินเครื่องจักรของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดเท่ากันนั้น เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตารางการผลิตไฟฟ้าตามช่วงอัตราการขายไฟฟ้าส่งช่วง Peak (เวลา 09.00-22.00 น. วันจันทร์-วันศุกร์ และวันพืชมงคล) โดยมองในแง่ของนักลงทุนซึ่งขายไฟฟ้าได้ในราคาต้นทุนที่ถูกกว่า และมองในแง่ของความมั่นคงในการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าระบบสายส่ง ซึ่งอัตราการขายไฟฟ้าส่งช่วง Peak จะอยู่ที่ 2.9278 บาท/หน่วย

และจากผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า พบว่าต้นทุนการผลิตทั้งหมดถูกจัดแบ่งตามลักษณะของกิจกรรมการผลิต ซึ่งแบ่งเป็น 4 ส่วนคือ ส่วนการลงทุนและก่อสร้าง, ส่วนการจัดหาวัตถุดิบ, ส่วนการผลิตไฟฟ้า และส่วนการขายไฟฟ้า โดยในแต่ละพื้นที่ศึกษานั้นจะมีต้นทุนการผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับ กำลังการผลิตไฟฟ้า ค่าที่ดินสิ่งปลูกสร้าง ค่าขนส่ง ค่าวัตถุดิบ อัตราภาษี ฯลฯ

จากผลการวิเคราะห์กำลังการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมและผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตทำให้เราทราบกำลังการผลิตและต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ศึกษา ซึ่งเราจะนำข้อมูลที่ได้นี้ไปทดสอบในแบบจำลองการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลที่ได้ออกแบบไว้ โดยแบบจำลองนี้สามารถคำนวณหา พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี ค่าดำเนินการผลิตรวม อัตราผลตอบแทนจากการขายไฟฟ้า และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ซึ่งจะแสดงผลการวิเคราะห์แบบจำลองการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

พื้นที่ศึกษา	กำลังการผลิต (MW)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kW-hr/ปี)	ค่าดำเนินการผลิตรวม (บาท/ปี)	ผลตอบแทนจากการขายไฟฟ้า (บาท/ปี)	ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (บาท/kW-hr)
1	1.6	4,994,496	14,218,881	21,312,378	2.85
2	5.2	16,232,112	39,603,420	68,661,728	2.44
3	2.6	8,116,056	22,210,987	34,456,573	2.74

4.4 ผลและการวิเคราะห์ระบบการเงิน

จากผลการวิเคราะห์ระบบการเงินตลอดอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้าด้วย การเปรียบเทียบในแต่ละช่วงเวลาของโครงการ (กระแสเงินสด) และการเปรียบเทียบที่สะท้อนคุณค่าของโครงการ (Net Present Value, Payback Period และInternal Rate of Return) ซึ่งผลการคำนวณพบว่า ในแต่ละพื้นที่ศึกษาจะมีอัตราผลตอบแทนทางการเงิน ดังตารางที่ 8

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Rights Reserved

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ระบบการเงินตลอดอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้าในเขตพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

พื้นที่ศึกษา	กำลังการผลิต (MW)	Net Present Value (NPV): Baht	Payback Period (year)	Internal Rate of Return (IRR)
1	1.6	51,132,920	5.7	16%
2	5.2	262,062,092	4.1	23%
3	2.6	98,429,171	4.9	19%

5. สรุปผลการวิจัย

จากการพิจารณาอัตราผลตอบแทนทางการเงินของทำเลที่ตั้งโรงไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งพบว่ามีความเป็นไปได้อย่างยิ่งในการลงทุน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าในเขตทำเลที่ตั้งที่มีศักยภาพชีวมวลสูงจะทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในกำลังการผลิตที่สูง ส่งผลทำให้ได้รับอัตราผลตอบแทนสุทธิทางการเงินสูงด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงควรเลือกลงทุนในโครงการที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งอาจจะต้องมีการรวบรวมชีวมวลเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงต้นทุนรวมของค่าขนส่งด้วย จึงจะทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

[1] ธเนศ อุทิศธรรม. (2550), ศักยภาพพลังงานจากชีวมวลเหลือทิ้งในประเทศไทย, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ

[2] หิรัญ ขันทองคำ. (2545), ศักยภาพพลังงานจากชีวมวลของไม้โตเร็วในประเทศไทย, กลุ่มพัฒนาพลังงานชีวมวลและถ่านหิน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

[3] Perpina, C., Alfonso, D., Perez-Navarro, A., Penalvo, E., Vargas, C., Cardenas, R., (2009). "Methodology based on Geographic Information Systems for biomass logistics and transport optimization", Renewable Energy. 34: 555-565.

[4] Calliope Panoutsou (2008). "Bioenergy in Greece: Policies, diffusion framework and stakeholder interactions" Energy Policy 36: 3674– 3685

[5] Reche, P., Gomez, G., Ruiz, N., Jurado, F., (2008) "Optimization of biomass fuelled systems for distributed power generation using Paticle Swarm Optimization". Electric Power Systems Research 78: 1448–1455

[6] P. Krukanont and S. Prasertsan (2004) "Geographical distribution of biomass and potential sites of rubber wood red power plants in Southern Thailand" Biomass and Bioenergy. 26: 47 – 59

[7] Fiedler, P., Lange, M., Schultze, M., (2007) "Supply Logistics for the Industrialized Use of biomass – Principles and Planning Approach", International Symposium on Logistics and Industrial Informatics, Wildau, Germany: 13-15 September.

[8] Transport Studies Group, (1996) "Transport and supply logistics of biomass fuels volume 1 – supply chain options for biomass fuels", University of Westminster Scottish Agricultural Collage, report no: ETSU B/W2/00399/REP/1.

[9] Allen, J., Browne, M., Hunter, A., Boyd, J., Palmer, H., (1998) "Logistics management and costs of biomass fuel supply", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 28 No. 6: 463-477.

[10] Caputo, A.C., Palumbo, M., Pelagagge, P.M., Scacchia, F., (2005) "Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables", Biomass and Bioenergy. 28: 35-51.

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Rights Reserved

[11] ทำเนียบโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดเชียงราย. (2550). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.industry.go.th/ops/pio/chiangrai/Page/home.aspx (วันที่ค้นข้อมูล: 27 สิงหาคม 2553).

[12] Ballou, R.H., (1992) Business Logistics Management, 3rd Edition, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

[13] ศุภกานต์ อัครชัยพานิชย์. (2544), การวิเคราะห์ต้นทุนกิจกรรมสำหรับธุรกิจขนส่งด้วยรถบรรทุก, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[14] Land, A. H. and Doig, A. G., (1960) "An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems" Econometrica. 28: 497-520

[15] อภิชาต โสภาแดง. (2551), การจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์, พิมพ์ครั้งที่ 1, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright©by
Faculty of Engineering
Chiang Mai University
All Rights Reserved