การศึกษาความเป็นไปได้ของตำแหน่งและขนาดของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมโดยพิจารณาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

A Feasible Study of Location and Size of Electric Power Plant by Using Biogas from Milk Cow Dung with Consideration of Geographic Information System

ชาตรี วัฒนศิลป์[1] วรรัตน์ ปัตรประกร[1] และ พรระพีพัฒน์ ภาสบุตร[2]*

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อใช้หาตำแหน่งที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมสำหรับ สหกรณ์โคนมในเขตปฏิรูปที่ดินลำพญากลาง อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี โดยขอบเขตของการศึกษาครอบคลุมฟาร์มโคนมจำนวน 733 ฟาร์ม ประกอบด้วยโคนมจำนวน 18,962 ตัว ตำแหน่งที่เป็นไปได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด มี 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ตั้งสหกรณ์โคนม ตำแหน่งที่ตั้งครัวเรือนหนาแน่นและตำแหน่งที่มีจำนวนการเลี้ยงโคนมหนาแน่น รวมถึงมุ่งเน้นในส่วนของขนาดโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนม โดยพิจารณาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ 5 แบบอันได้แก่ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้นระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบปิดคลุมบ่อ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ และระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมเทคโนโลยี นอกจากนี้ยังได้ทำการประเมินดัชนีทางการเงินในรูปของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน อัตราผลตอบแทนภายใน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมของสหกรณ์โคนม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าขนาดที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมคือ 952 กิโลวัตต์ โดยใช้ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้น และตำแหน่งที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมคือที่สหกรณ์โคนมในเขตปฏิรูปที่ดินลำพญากลางซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีต้นทุนค่าขนส่งน้อยที่สุด ท้ายที่สุดผลการวิเคราะห์ทางการเงินพบว่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่า 1.37 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่า 57,420,269.21 บาท ที่อัตราคิดลด 6 เปอร์เซ็นต์ และผลตอบแทนภายในมีค่า 21.16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาอายุโครงการที่ 15 ปี

คำสำคัญ โรงไฟฟ้า ก๊าซชีวภาพ มูลโคนม ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

Abstract

This research proposes a study of the geographic information system (GIS) to optimize the location of biogas power plant from dairy cow dung in Lamphayaklang Reform Land Dairy Cooperative in Muaklek, Saraburi Province. The scope of this study covers the number of dairy farms at 733 farms with 18,962 dairy cows. The suitable locations for this study are the location at Dairy cooperative, the location with highest household density, and the location with highest dairy cow density. This study is also focused on the size of biogas power plant that is utilized biogas from dairy cow dung by considering the production efficiency of 5 biogas technologies which are upflow anaerobic sludge blanket (UASB), cover lagoon or modified cover lagoon, completely stirred tank reactor (CSTR), fixed film and hybrid channel digester. Furthermore, the financial indices are evaluated in term of net present value (NPV), benefit cost ratio (B/C), and internal rate of return (IRR) to support the decision making of dairy cooperative for optimizing size and location of biogas power plant. The study results show that the optimal size of biogas power plant from dairy cow dung is 952 kW, the suitable biogas technology is UASB, and the optimal location is at Lamphayaklang Reform Land Dairy Cooperative which is the location with the least logistic cost. Finally, the financial analysis results present B/C at 1.37, NPV at 57,420,269.21 Baht with 6 % of discount rate and IRR at 21.16% when the project lifetime is 15 years.

Keyword Power plant, Biogas, Cow Dung**,** Geographic Information System

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

[2]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตอ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0-2564-3001 ต่อ 3053

E-mail: Chatree@eri.chula.ac.th

1. บทนำ

จากมูลค่าของการนำเข้าพลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อราคาเชื้อเพลิงสูงขึ้นทำให้ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้น ส่งผลต่อเศรษฐกิจและการพัฒนาประเทศ การใช้พลังงานทดแทน หรือพลังงานหมุนเวียนซึ่งเป็นพลังงานที่มีภายในประเทศในการผลิตไฟฟ้าสามารถช่วยลดการนำเข้าพลังงาน ลดการลงทุนของภาครัฐในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และยังช่วยในด้านสิ่งแวดล้อมโดยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนเชื้อเพลิงพลังงานหมุนเวียนที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้ามาจากพลังงานหลายชนิด เช่น พลังงานจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก ลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ เป็นต้น สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพสามารถผลิตได้จากหลายแหล่งผลิต เช่น น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง น้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล มูลสัตว์ เป็นต้น พลังงานก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ รวมถึงก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมนับเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูงสำหรับประเทศไทย[1] และจากสถิติของกรมปศุสัตว์ปี พ.ศ. 2551 พบว่าประเทศไทยมีการเลี้ยงโคนมจำนวน 469,937 ตัว ซึ่งสามารถให้พลังงานเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 563 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี โดยจังหวัดที่มีการเลี้ยงโคนมมากที่สุดคือ จังหวัดสระบุรี ซึ่งมีการเลี้ยงโคนมจำนวน 84,158 ตัว สามารถให้พลังงานเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 100 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี คิดเป็น 17.91เปอร์เซ็นต์[2] จากจำนวนโคนมทั้งประเทศ และเนื่องจากจังหวัดสระบุรีมีศักยภาพ ในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้ของตำแหน่ง และขนาดของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมบริเวณเขตพื้นที่จังหวัดสระบุรี จึงน่าสนใจโดยนอกเหนือจากพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพแล้วยังมีผลดีต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว การก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์นั้นจำเป็นที่ต้องศึกษาความเหมาะสมในทุกๆด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาขนาดและตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขทางเศรษฐศาสตร์เนื่องจากมีผลต่อความคุ้มค่าในการลงทุน โดยต้นทุนด้านการขนส่งเป็นต้นทุนหลักต้นทุนหนึ่งของต้นทุนรวม การพิจารณาปัจจัยด้านการผลิต ด้านต้นทุนการขนส่งจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งของการก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนม ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะศึกษาหาขนาดและตำแหน่งของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนม จากปัจจัยต่างๆที่ก่อให้เกิดเป็นต้นทุนด้านการขนส่ง โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์มาช่วย ในการพิจารณาเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด

2. วิธีการศึกษา

2.1วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของตำแหน่งโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด ของการก่อสร้างโดยพิจารณาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์มาใช้ในการกำหนดตำแหน่งที่เป็นไปได้

2. เพื่อหาขนาดของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนม ที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพใน 5 ระบบซึ่งเป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีใช้อยู่ในประเทศไทยได้แก่ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้น ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบปิดคลุมบ่อ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ และระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมเทคโนโลยี

2.2ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้นำเสนอวิธีการพิจารณาความเป็นไปได้ของขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของการก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมบริเวณสหกรณ์โคนมในเขตปฏิรูปที่ดินลำพญากลาง อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี ภายใต้เงื่อนไขที่พิจารณาจำนวนผู้เลี้ยงโคนมจำนวนอย่างน้อย 600 ฟาร์ม และ มีจำนวนโคนม รวมกันอย่างน้อย 10,000 ตัว โดยมีระยะทางจากฟาร์มโคนมกับสหกรณ์โคนมในเขตปฏิรูปที่ดินลำพญากลางไม่เกิน 20 กิโลเมตร และ พิจารณาจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 5 แบบได้แก่ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้น ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบปิดคลุมบ่อ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ และระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมเทคโนโลยี เปรียบเทียบปริมาณก๊าซที่ผลิตได้แต่ละระบบเพื่อนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้า การเลือกตำแหน่งที่ตั้งโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมจะพิจารณาจากตำแหน่งที่มีจำนวน

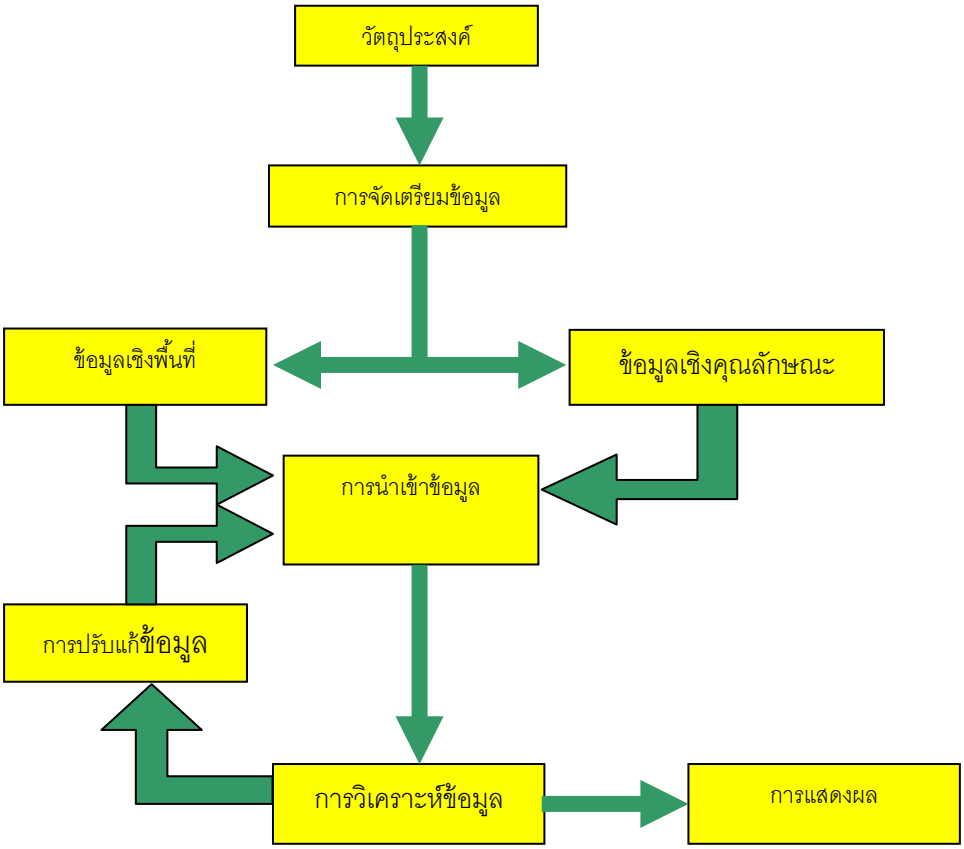
โคนมหนาแน่นที่สุด ตำแหน่งที่ตั้งสหกรณ์โคนมในเขตปฏิรูปที่ดินลำพญากลางและ ตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของครัวเรือนสูงสุด และการคำนวณต้นทุนในการขนส่งมูลโคนมจากฟาร์มไปยังที่ตั้งที่มีความเป็นไปได้ของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพทั้งสามตำแหน่งโดยใช้รถบรรทุกขนาดบรรทุก 1,000 กิโลกรัม(เป็นรถบรรทุกขนาดเดียวกับการขนส่งน้ำนมดิบ)ในการขนส่ง

2.3การวิเคราะห์โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)

การนำเข้าข้อมูล ได้มีการจัดเตรียมไว้แล้วคือ ข้อมูลตำแหน่งพิกัดของฟาร์มโคนมทั้งหมด 733 ฟาร์ม และข้อมูลของแผนที่ในเขตพื้นที่ ลำพญากลาง อำเภอหมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี และพื้นที่ที่ใกล้เคียง นำข้อมูลทั้งสองส่วนเข้าในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์โดยการซ้อนทับของชั้นข้อมูลต่างๆ เพื่อจัดแสดงผลเป็นรูปภาพ การวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์นั้นโดยใช้ ฟังก์ชันเครือข่าย ในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดของ แต่ละตำแหน่งฟาร์มโคนมไปยังตำแหน่งที่มีความเป็นไปได้ในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นข้อมูลคิดเป็นค่าขนส่งในแต่ละตำแหน่ง และใช้ในการประเมินผลความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป โดยมีมีขั้นตอนการดำเนินการดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1

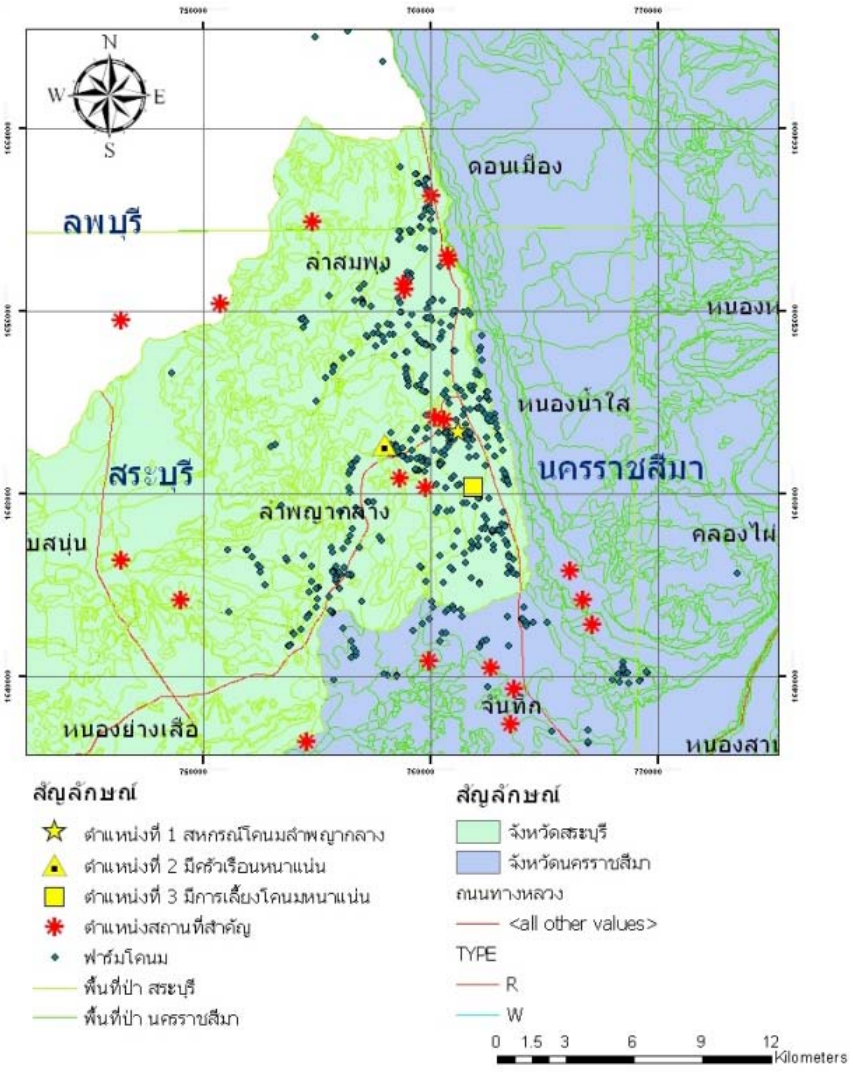
การวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์



2.4 การวิเคราะห์ด้านการขนส่ง

วิเคราะห์ข้อมูลเส้นทางการขนส่ง เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดตามแนวของเส้นทางถนน ด้วยโปรแกรม อาร์คจีไอเอส ในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยใช้ฟังก์ชันวิเคราะห์เครือข่าย ซึ่งเป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณระยะทางที่สั้นที่สุด โดยวิเคราะห์หาระยะทางที่สั้นที่สุดจากตำแหน่งของฟาร์มแต่ละแห่ง ไปยังตำแหน่งของโรงไฟฟ้าในตำแหน่งต่างๆ ที่มีความเป็นไปได้ โดยในการหาระยะทางที่สั้นที่สุดตามแนวเส้นถนน จะเป็นการหาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดสองจุดคือตำแหน่งของโรงไฟฟ้ากับตำแหน่งของแต่ละฟาร์มโคนม นำมาเปรียบเทียบระยะทางทั้งหมดในแต่ละตำแหน่งของโรงไฟฟ้า ในการหาระยะทางที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรมอาร์คจีไอเอสนี้ เมื่อต้องการให้โปรแกรมคำนวณหาระยะทางจากตำแหน่งพิกัดฟาร์มไปยังตำแหน่ง ของโรงไฟฟ้าที่อาศัยชีวภาพ โปรแกรมสามารถวิเคราะห์หาเส้นทางถนนที่ใกล้กับจุดพิกัดที่กำหนดมากที่สุด และเลือกเส้นทางนั้นเพื่อเดินทางไปยังตำแหน่งปลายทางที่ต้องการ ในกรณีที่เส้นทางถนนที่ใกล้กับจุดพิกัดมีหลายเส้นทาง โปรแกรมสามารถหาเส้นทางที่มีระยะทางสั้นที่สุดและเลือกเส้นทางนั้นเพื่อเดินทางไปยังตำแหน่งปลายทางที่ต้องการได้เช่นแสดงตำแหน่งดังในภาพที่ 2

ภาพที่2 ตำแหน่งของฟาร์มและตำแหน่งที่มีความเป็นไปได้ของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมทั้ง 3 ตำแหน่ง



3. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

3.1 ต้นทุนรับซื้อมูลโคนม

จากแบบสอบถามข้อมูลการจัดการมูลโคนมของฟาร์ม มีการนำมูลโคนมที่แห้งไปจัดจำหน่ายเพื่อทำเป็นปุ๋ย โดยมีการจัดเก็บมูลโคนมปีละ 3 ครั้ง ครั้งละ 500 กระสอบ จำหน่ายราคากระสอบละ 15 บาท มีน้ำหนักกระสอบละ 15 กิโลกรัม คิดปริมาณมูลโคนมที่เก็บได้จริง 70% รวมรายได้จากการขายมูลโคนมแห้งเพื่อไปทำปุ๋ยปีละ 15,750 บาท ในฟาร์มเลี้ยงโคนมจำนวน 50 ตัว และนำมูลค่าการขายมูลคิดเป็นตัวโคนมจำนวน 1 ตัวได้เท่ากับ 315 บาท

Md = มูลค่าการรับซื้อมูลโคนม

$$Md = 315 \times \text{จำนวนโคนม} \quad (1)$$

ต้นทุนในการรับซื้อมูลโคนมคำนวณตามสามการ 1 ซึ่งมูลค่าในการรับซื้อต้องไม่น้อยกว่าราคาที่ผู้เลี้ยงโคนมนำมูลโคนมไปจำหน่ายเพื่อทำปุ๋ย โดยมีมูลค่าการจำหน่ายมูลโคนมตัวละ 315 บาทต่อตัวต่อปี การวิจัยนี้ศึกษาจำนวนโคนมทั้งหมด 18,962 ตัว คิดเป็นมูลค่าในการรับซื้อมูลโคนมเท่ากับ 5,973,030 บาทต่อปี

3.2 ต้นทุนการขนส่ง

ต้นทุนด้านการขนส่ง ถือได้ว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในด้านการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากการรวบรวมมูลโคนมจากฟาร์มต่าง ๆเพื่อมารวบรวมยังสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมเป็นต้นทุนที่มีมูลค่ามาก การวิเคราะห์ด้านการขนส่งจึงเป็นเรื่องจำเป็นที่ต้องพิจารณาอย่างละเอียดเพื่อให้เกิดต้นทุนด้านการขนส่งที่ต่ำที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงได้นำโปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เข้ามาเป็นเครื่องมือช่วยในการหาระยะทางที่สั้นที่สุดของการขนส่งมูลโคนม นอกจากนั้นวิธีวิจัยที่นำมาประกอบในการคิดต้นทุนด้านการขนส่งได้นำแนวคิดแบบเส้นการขนส่งเสมือนจริง เข้ามาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย เพื่อให้การขนส่งมูลโคนมมีประสิทธิภาพและเกิดต้นทุนด้านการขนส่งที่ต่ำที่สุด โดยวิธีการเก็บรวบรวมมูลโคนมจะอ้างอิงจากการใช้รถกระบะซึ่งมีขีดความสามารถบรรทุกน้ำหนักได้ 1,000 กิโลกรัม ตันวิ่งเก็บมูลโคนมในบริเวณฟาร์มใกล้กันให้ได้น้ำหนักที่บรรทุกได้ก่อนที่ จะวิ่งไปยังที่ตั้งโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนม นอกจากนี้เพื่อให้ได้ต้นทุนการขนส่งที่มีความใกล้เคียงกลับความเป็นจริงในงานวิจัยนี้จึงได้รวมค่าใช้จ่ายในเรื่องของการบำรุงรักษารถยนต์ที่ใช้สำหรับการขนส่ง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน และ ค่าจ้างแรงงานสำหรับผู้ขับขี่รถขนส่งมูลโคนม โดยปัจจัยที่กล่าวมาจะสะท้อนถึงต้นทุนด้านการขนส่งทั้งหมด การหาต้นทุนด้านการขนส่งสามารถแบ่งเป็นสมการที่ 2 และ 3

$$Rj = \sum_{K=1}^{N}((Qkj/1000)x2Dkjx(Fc + Mc + Lc)) \quad (2)$$

โดยกำหนดให้

Rj = ค่าขนส่งมูลโคนมที่น้ำหนักบรรทุก 1,000 กิโลกรัมต่อ 1 รอบหน่วยเป็นบาท

Q_{kj} = ปริมาณมูลโคนมที่ฟาร์ม k ไปยังโรงไฟฟ้าหน่วยเป็นกิโลกรัม

D_{kj} = ระยะทางจากฟาร์ม k ไปยังโรงไฟฟ้าหน่วยเป็นกิโลเมตร (ได้จากระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์)

Fc = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถหน่วยเป็นบาทต่อกิโลเมตร

Mc = ค่าบำรุงรักษารถยนต์หน่วยเป็นบาทต่อกิโลเมตร

Lc = ค่าแรงงานสำหรับคนขับรถหน่วยเป็นบาทต่อกิโลเมตร

จากสมการที่ 2 จะเป็นค่าขนส่งมูลโคนมโดยวิธีการวิ่งรับเป็นกลุ่มที่ฟาร์มอยู่ใกล้กันจนได้น้ำหนักบรรทุกที่ 1,000 กิโลกรัมแล้วจึงจะวิ่งไปส่งมูลโคนมที่ตำแหน่งที่มีความเป็นไปได้ที่จะสร้างโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนม ดังนั้นจากการคำนวณน้ำหนักมูลโคนมทั้งหมดจะต้องใช้รถในการวิ่งรับส่งทั้งหมด 133 รอบจึงจะสามารถขนส่งมูลโคนมจนหมดใน 1 วัน ดังนั้นค่าขนส่งรวมทั้งหมดจะหาได้จากสมการที่ 3

$$TC = \sum_{j=1}^{N}(Rj)x365 \quad (3)$$

โดยกำหนดให้

TC = ค่าขนส่งมูลโคนมรวมทั้งหมดหน่วยเป็นบาทต่อปี

N = จำนวนรอบในการขนส่งทั้งหมดคือ 133 รอบ

ผลการคำนวณจากสมการที่ 2 และ 3 แสดงค่าต้นทุนการขนส่งทั้ง 3 ตำแหน่งดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ต้นทุนการขนส่งต่อปีของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมทั้งสามตำแหน่ง

ตำแหน่ง	ปริมาณมูลวัว	ค่าขนส่ง

	กิโลกรัมต่อวัน	บาทต่อปี
สหกรณ์โคนมฯ(1)	132,734	3,772,859
ครัวเรือนหนาแน่น(2)	132,734	4,044,858
โคนมหนาแน่น(3)	132,734	4,270,338

3.3 การหาปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากเทคโนโลยี 5 แบบที่ทำการศึกษา คำนวณได้จากสมการที่ 4 โดยที่พิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบผลิตที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพต่างกัน โดยคำนวณจากค่าปริมาณซีโอดี ที่ป้อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี และปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด [3] ต้นทุนในการก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพคำนวณได้จากสมการที่ 5 โดยนำผลผลิตก๊าซชีวภาพคูณด้วยต้นทุนบาทต่อค่าซีโอดีที่ป้อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ดังแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 2

$BG_i = 0.17 \times C_i \times$ (ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี) X (ลูกบาศก์เมตรก๊าซชีวภาพต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด) (4)

BG_i = ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

C_i = ปริมาณมูลโคนม 7 กิโลกรัมต่อตัว [3]

$FC_g = BG_i \times$ (บาทต่อค่าซีโอดีที่เข้าระบบ) (5)

FC_g = ต้นทุนก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพทั้ง 5 แบบของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การวิเคราะห์	แบบการไหลขึ้น	แบบปิดคลุมบ่อ	แบบกวนสมบูรณ์	แบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์	แบบผสมเทคโนโลยี
ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่า ซีโอดี	90.00%	85.00%	73.50%	85.00%	85.00%
ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อ ค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด (ลูกบาศก์เมตรก๊าซชีวภาพต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.45	0.45	0.49	0.43	0.49
ราคาระบบต่อค่าซีโอดีที่ป้อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (บาทต่อค่าซีโอดีที่เข้าระบบ)	1,275	1,067	1,676	1,625	1,786

ที่มา : รายงานสรุปผลโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน 2551[4]

การคำนวณหาปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพโดยสมการที่ 4 ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้จะแตกต่างกันตามประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดี และอัตราการเกิดก๊าซ แสดงผลแยกลำดับการคำนวณ โดยตารางที่ 3 แสดงผลการคำนวณปริมาณค่าซีโอดีที่ป้อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 5 ระบบโดยมีปริมาณมูลโคนม 132,174 กิโลกรัมต่อวันและ ปริมาณซีโอดีมีค่าเท่ากับ 22,565 กิโลกรัมซีโอดีต่อวัน จากปริมาณค่าซีโอดีที่ป้อนเข้าระบบที่เท่ากัน แต่ละระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 5 ระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีในระบบที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณหาปริมาณค่าซีโอดี ที่ป้อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

	จำนวนโคนม	ปริมาณมูลโคนม	ปริมาณซีโอดี ที่เข้าระบบ
	ตัว	กิโลกรัมต่อวัน	กิโลกรัมซีโอดีต่อวัน
จำนวนฟาร์ม	n	C_i=n x 7	kg-COD=C_i x 0.17
733	18,962	132,734	22,565

จากปริมาณการเกิดก๊าซต่อปริมาณค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดที่แตกต่างกัน ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 5 แบบ โดยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมเทคโนโลยีจะมีปริมาณก๊าซชีวภาพที่มากที่สุด รองลงมาคือแบบการ

ไหลขึ้น แบบปิดคลุมบ่อ แบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ และระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพน้อยที่สุดคือแบบถังกวนสมบูรณ์ การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 5 แบบจะคำนวณจากวันทำงานของระบบเท่ากัน 310 วันต่อปี

3.4 การหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากก๊าซชีวภาพ

จากปริมาณก๊าซที่ผลิตได้แต่ละระบบนำมาคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยปริมาณก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 2.185 กิโลวัตต์ชั่วโมง [5] พลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ใน 1 วัน นำไปหาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังสมการที่ 6

$$G = (BGi \times 2.185) / Hr \quad (6)$$ โดย

กำหนดให้ G = ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Hr = ชั่วโมงใช้งานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากก๊าซชีวภาพ

จากสมการ 6 จะสามารถคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แสดงผลปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 5 แบบ ดังตารางที่ 4 และการหาขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคำนวณจากการเดินเครื่องกำเนิดวันละ24 ชั่วโมง ปีละ 310 วัน ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เลือกติดตั้งในโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมเลือกขนาด 952 กิโลวัตต์ เท่ากันทุกระบบซึ่งเป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับพลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้และ จากขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีจำกัดตามผู้ผลิต

3.5 การหาปริมาณปุ๋ยจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ปริมาณปุ๋ยที่ผลิตได้ในแต่ละระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ปริมาตรระบบก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรจะผลิตปุ๋ยได้เท่ากับ 0.3 กิโลกรัม[2] ราคาผลตอบแทนปุ๋ย ที่ใช้ในการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ คือ 6 บาทต่อกิโลกรัม ดังสมการที่ 7

$$FCt = (BGi \times 0.3 \times 6) \quad (7)$$ โดย

กำหนดให้ FCt = มูลค่าจากการขายปุ๋ย (บาทต่อปี)

การคำนวณหาปริมาณปุ๋ยที่ได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 5 แบบ ตามสมการ 7 ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรมีปริมาณปุ๋ย 0.3 กิโลกรัม ระบบที่มีก๊าซชีวภาพสูงสุดจะมีปริมาณของปุ๋ยสูง แสดงปริมาณปุ๋ยที่ผลิตได้ในแต่ละระบบดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณในระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 5 แบบ

	ผลการคำนวณ					
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	แบบ การไหลขึ้น	แบบ ปิดคลุมบ่อ	แบบ ถังกวนสมบูรณ์	แบบ ตรึงฟิล์มจุลินทรีย์	แบบ ผสมเทคโนโลยี	หน่วย
ปริมาณค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด	20,308	19,180	16,585	19,180	19,180	กก.ซีโอดี/วัน
ปริมาณ ก๊าซชีวภาพต่อวัน	9,138	8,631	8,126	8,247	9,398	ลบ.ม/วัน
ปริมาณ ก๊าซชีวภาพต่อปี	2,833,008	2,675,618	2,519,278	2,556,702	2,913,451	ลบ.ม/ปี
พลังงานไฟฟ้า	6,190,122	5,846,227	5,504,623	5,586,394	6,365,891	กว.-ชม./ปี
ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์	849,902	802,685	755,783	767,010	874,035	กก./ปี
ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบของโรงฟ้า	1,133,203	1,070,247	1,007,711	767,010	874,035	บาท/ปี

3.6 ต้นทุนด้านการเดินระบบ

การสร้างโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนม ในการควบคุมระบบการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพและส่วนผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายทางด้านแรงงานของผู้ปฏิบัติการในการควบคุม ค่าบำรุงรักษาเครื่องอุปกรณ์ต่างๆ และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ด้วยอัตราค่าใช้จ่าย 0.4 บาทต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ 1 ลูกบาศก์เมตร [4] ดังสมการที่ 8

$$FCm = BGi \times 0.4 \quad (8)$$ โดย

กำหนดให้ FCm = มูลค่าในการเดินระบบ (บาทต่อปี)

3.7 ต้นทุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและงานระบบไฟฟ้า

การสร้างโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนม ต้องมีค่าต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและงานระบบไฟฟ้าเช่น หม้อแปลงไฟฟ้า ระบบตู้ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าและสายส่งเพื่อต่อเข้ากับระบบส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ด้วยอัตรากำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากิโลวัตต์ละ 21,008.40 บาท[3] ดังสมการที่ 9

$$FCe = G \times 21{,}008.40 \quad (9)$$ โดย

กำหนดให้ FCe = มูลค่าเงินลงทุนเครื่องกำเนิดและระบบไฟฟ้า

ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เลือกใช้ในการติดตั้งมีขนาด 952 กิโลวัตต์ จากสมการที่ 9 ได้ผลการคำนวณเท่ากับ 20,000,000 บา

3.8 การวิเคราะห์ผลตอบแทนโครงการทางเศรษฐศาสตร์

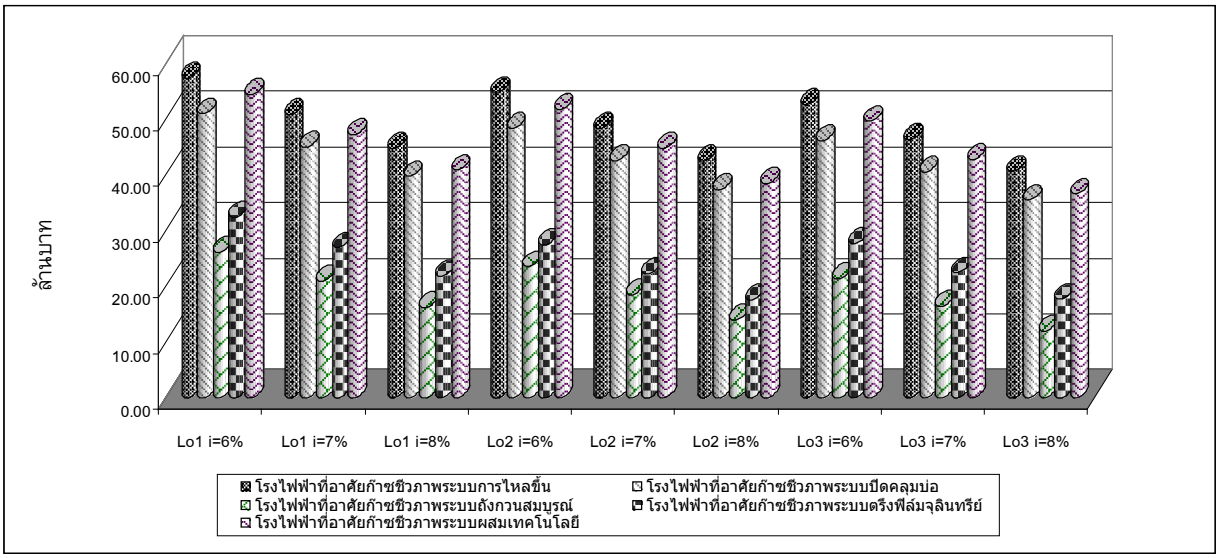
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนประกอบด้วยการวิเคราะห์หามูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนจากโครงการลงทุนโดยมีข้อกำหนดในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ผลตอบแทนโครงการทางเศรษฐศาสตร์ในตำแหน่งที่ 1, 2 และ3

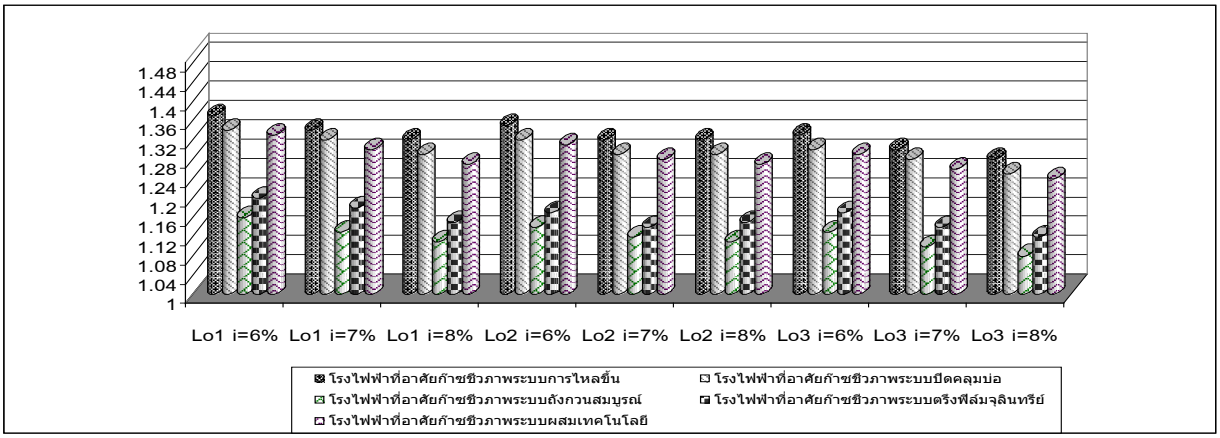
ข้อกำหนด	อัตรา
1. อายุของโครงการ	15 ปี
2. อัตราคิดลด	ร้อยละ 6, 7 และ 8
3. ต้นทุนด้านค่าขนส่งในตำแหน่งที่ 1	3,772,859.49 บาทต่อปี
4. ต้นทุนด้านค่าขนส่งในตำแหน่งที่ 2	4,044,858.35 บาทต่อปี
5. ต้นทุนด้านค่าขนส่งในตำแหน่งที่ 3	4,270,338.03 บาทต่อปี

ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมจากเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 5 แบบ ในตำแหน่งที่มีความเป็นไปได้ทั้งสามตำแหน่ง การวิเคราะห์มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิดังแสดงในภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนโครงการโดยโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมจากเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมเทคโนโลยีจะมีปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดดังแสดงในตารางที่ 4 แต่จากปัจจัยในด้านการขนส่งและต้นทุนในการก่อสร้างทำให้ในตำแหน่งที่ 1 ของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมโดยใช้ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้นให้ผลตอบแทนโครงการมากที่สุดมีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 57.42 ล้านบาท ที่อัตราคิดลดร้อยละ 6 และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมีค่าสูงที่สุดโดยมีเท่ากับ 1.37แสดงดังภาพที่ 4 และผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนภายในของโครงการแสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งมีผลสอดคล้องกันโดยในตำแหน่งที่ 1 ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมจากเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้นมีค่าผลตอบแทนภายในสูงที่สุดเท่ากับ 21.16%

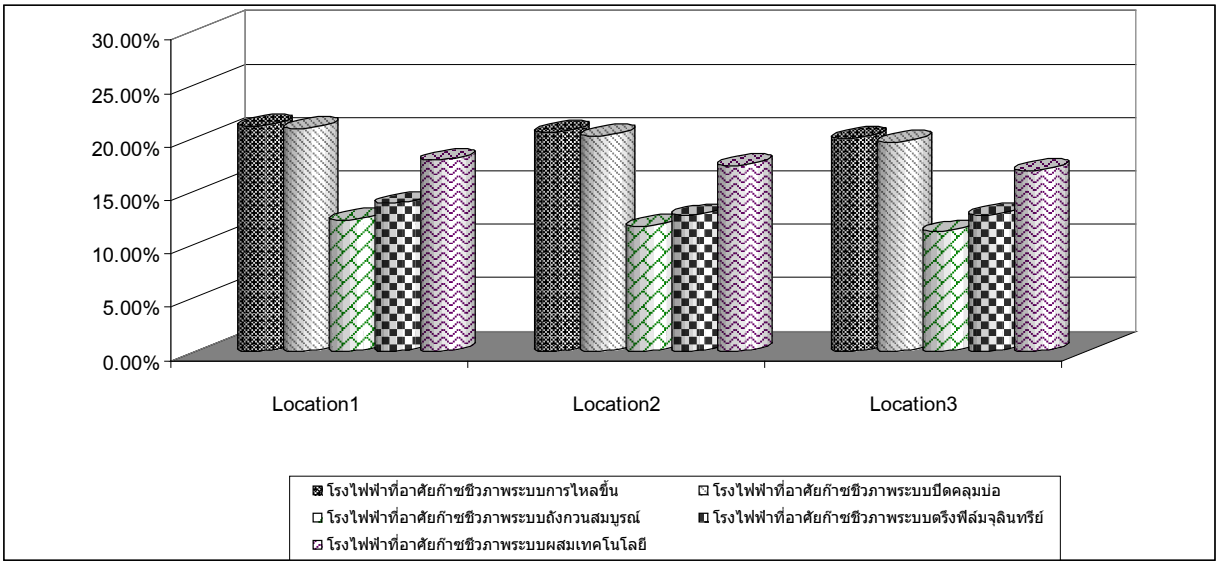
ภาพที่ 3 กราฟการวิเคราะห์มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิจากโครงการทั้งสามตำแหน่ง อัตราคิดลดร้อยละ 6,7และ 8



ภาพที่ 4 กราฟการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนกับเงินลงทุนจากโครงการทั้งสามตำแหน่ง อัตราคิดลดร้อยละ 6,7และ 8



ภาพที่ 5 กราฟการวิเคราะห์ผลตอบแทนภายในจากโครงการทั้งสามตำแหน่ง อัตราคิดลดร้อยละ 6,7และ 8



การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมจากเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 5 แบบ อัตราคิดลดร้อยละ 6, 7 และ 8 ตลอดอายุโครงการ พบว่าอัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน มีค่าสูงที่สุดในตำแหน่งที่ตั้งโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้นในตำแหน่งที่ 1 มีค่าสูงถึง 21.16% เป็นค่าที่สูงกว่าระดับเป้าหมายที่วางไว้ที่ 6%, 7% และ 8% ค่อนข้างมาก และเมื่อพิจารณามูลค่าผลตอบแทนสุทธิจากโครงการลงทุน พบว่ามีค่าเท่ากับ 57.42 ล้านบาท ณ อัตราคิดลดร้อยละ 6 ณ อัตราคิดลดร้อยละ 7 มีค่าเท่ากับ 50.81 ล้านบาท และ มีค่าเท่ากับ 44.81 ล้านบาท ณ อัตราคิดลดร้อยละ 8 ถือว่าอยู่ในระดับที่สูง สอดคล้องกับค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน ที่มีค่า 1.37, 1.34 และ 1.32 ณ อัตราคิดลดร้อยละ 6, 7 และ 8 ตามลำดับ

4. สรุปผลการวิจัย

การหาตำแหน่งที่มีความเป็นไปได้ ของการก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมเพื่อนำมาประเมินค่าความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่ามีตำแหน่งบริเวณที่ตั้งของสหกรณ์ฟาร์มโคนมในเขตปฏิรูปที่ดินลำพญากลาง มีข้อได้เปรียบด้านความเป็นศูนย์กลางของการเลี้ยงโคนมในเขตตำบลลำพญากลางทางด้านเหนือและใต้ มีระยะทางในการขนส่งน้อยที่สุด โดยมีระยะทางรวมทั้งสิ้น 6,093 กิโลเมตร โดยมีต้นทุนการขนส่งต่อปีเท่ากับ 3.77 ล้านบาทต่อปี ต่างจากตำแหน่งที่มีต้นทุนการขนส่งมากที่สุด 497,478 บาทต่อปี และตำแหน่งของโรงไฟฟ้าฯที่มีระยะทางระหว่างฟาร์มโคนมกับโรงไฟฟ้าฯมากที่สุดคือ ตำแหน่งที่มีจำนวนการเลี้ยงโคนมมากที่สุด โดยมีระยะทางรวมทั้งสิ้น 6,877 กิโลเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่ามีระยะทางต่างกันถึง 784.25 กิโลเมตร โดยมีขนาดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 952 กิโลวัตต์ เพื่อรองรับปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะเกิดขึ้นทั้งหมดจากจำนวนโคนมทั้งสิ้น 18,962 ตัว พบว่าค่าความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ประเมินได้ในตำแหน่งที่มีความเป็นไปได้ที่ 1 ใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้น ผลการวิเคราะห์ทางการเงินพบว่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่า 1.37 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่า 57.42 ล้านบาท ที่อัตราคิดลด 6 เปอร์เซ็นต์ และผลตอบแทนภายในมีค่า 21.16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาอายุโครงการที่ 15 ปี

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสหกรณ์โคนมในเขตปฏิรูปที่ดินลำพญากลาง ตำบลลำพญากลาง จังหวัดสระบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนในเรื่องของสถานที่ในการเก็บข้อมูลและการอำนวยความสะดวกต่างๆ จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานโครงการสนับสนุนทุนการศึกษาในประเทศแผนพลังงานทดแทน สำนักงานนโยบายพลังงานและพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน ที่สนับสนุนทุนในการศึกษาครั้งนี้

และขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนการศึกษาครั้งนี้

รายการอ้างอิง

ครรชิต มาลัยวงศ์ (2529) ระบบข้อมูลภูมิศาสตร์ไมโครคอมพิวเตอร์.

เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และ วัฒนา กสิกุล. (2548) การวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรเป็นเชื้อเพลิง, ในการสัมมนาเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, พัทยา, ชลบุรี, 11-13 พฤษภาคม 2548, หน้า 1-6.

ชาตรี วัฒนศิลป์ “ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของก๊าซชีวภาพ จากน้ำเสียในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม”การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6

ผถาวร อมตกิตติ์ (2545) คู่มือระบบไฟฟ้า (พิมพ์ครั้งที่ 1).

ธีระพล จินดาวงศ์, “การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนในระบบก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกร” (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544)

นิจพร อินทศร, “ศึกษาหาตำแหน่งที่เหมาะสมของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคนม โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์สำหรับสหกรณ์โคนมในเขตปฏิรูปที่ดินลำพญากลาง” (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2552)

นุจรีย์ เพชรรัตน์, “การประเมินโครงการก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ กรณีศึกษา: บริษัท เอส.พี.ฟาร์ม จำกัด” (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2548)

รายงานสรุปผลการดำเนินงานโครงการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มปศุสัตว์ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน 2551

รายงานสรุปผลโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน 2551

สโรชา ทองศรี, “การนำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์พิจารณาตำแหน่ง และขนาดที่เหมาะสม ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากมูลโคนมสำหรับสหกรณ์โคนมในเขตปฏิรูปที่ดินลำพญากลาง” (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2552)

สมบัติ อยู่เมือง(2540) การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อการบริหาร.พิมพ์ครั้งที่ 1

สุเพชร จิรขจรกุล (2540) เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา ทย.272 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สุเพชร จิรขจรกุล (2551). เรียนรู้ระบบภูมิสารสนเทศด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.2 (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: เอส.อาร์ พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์.

เสรี โตเข็ม, “การวิเคราะห์ทางเศรษศาสตร์ของโครงการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสุกรเพื่อทดแทนระบบก๊าซแอลพีจี และระบบไฟฟ้า,” (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541)

อุทัย สุขสิงห์ (2549) การจัดการระบบฐานข้อมูลสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ (GIS)(พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ส.ส.ท.

Gunnarsson, C., Vagstrom, L., & Hansson P.A. (2008). Logistics for forage harvest to biogas production-Timeliness, capacities and costs in a Swedish case study. Biomass and Bioenergy, Vol 32, (pp. 1263-1273)

Maeng, H., Lund, H., & Hvelplund, F. (1999). Biogas plants in Denmark : technological and economic developments. Applied Energy, Vol. 64. (pp. 195-206).

Omer, A.M., & Fadalla, Y., (2003). Biogas energy technology in Sudan. Renewable Energy,

power production: a GIS based method. Biomass and Bioenergy, Vol. 20, No. 2. (pp.101-112).Vol. 44, No. 28, pp. (499-507).

Singh, J., Panesar, B.S., & Sharma, S.K., (2007). Energy potential through agricultural biomass using geographical information system-A case study of Punjab. Biomass and Bioenergy, Vol 32. (pp. 301-307)

Voivontas, D., Assimacopoulos, D., & Koukios E.G., (2001). Assessment of biomass potential for.

Yilmaz, I. (2008). A case study for mapping of spatial distribution of free surface heave in alluvial soils (alvo, Turkey) by using GIS software. Computer and Geosciences, Vol. 34. (pp. 993-1004).