



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

แนวทางที่เหมาะสมในการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและมูลสัตว์ ในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น

An appropriate approach for biogas production and utilization from waste food and animal manure in Khon Kaen University

ปัทมาวดี สิทธิวรเดช และ รัชพล สันติวารการ*

Pattamavadee Sittivoradet and Ratchaphon Suntivarakom*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand, 40002

Received June 2012

Accepted December 2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาแนวทางที่เหมาะสมในการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและมูลสัตว์ในมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลปริมาณเศษอาหารและมูลสัตว์ และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น จากการศึกษาพบว่า มหาวิทยาลัยขอนแก่นมีปริมาณเศษอาหารและมูลสัตว์โดยเฉลี่ยวันละ 989.88 และ 1,716.57 กิโลกรัมตามลำดับ เมื่อทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าสัดส่วนที่มูลสัตว์และเศษอาหารที่เหมาะสมในการผลิต คือ สัดส่วนของมูลสัตว์ต่อเศษอาหารเท่ากับ 1:1 จะได้ปริมาณก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ย 0.3 ลิตรต่อลิตรสารขึ้นเหลวต่อวัน เมื่อพิจารณาขนาดบ่อหมักที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจะได้บ่อหมักขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร และจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในโครงการการใช้ก๊าซชีวภาพในรูปแบบต่างๆ 4 รูปแบบ พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่ออัดบรรจุถังทดแทนก๊าซหุงต้ม LPG เป็นรูปแบบที่มีความเป็นไปได้และเหมาะสมกับชุมชนมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมีค่า NPV เท่ากับ 482,470.38 บาท ค่า B/C ratio เท่ากับ 1.12 ค่า IRR = 17.37 % และโครงการมีระยะเวลาคืนทุน 4 ปี 7 เดือน

คำสำคัญ : เศษอาหาร มูลสัตว์ ก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

Abstract

This research presents a study of an appropriate approach for biogas production and utilization from waste food and animal manure in Khon Kaen university. The quantity of waste food and animal manure were collected, and the economic feasibility of biogas production was studied. From the study, it was found that the average amount of waste food and animal manure were 989.88 and 1,716.57 kg/day, respectively. The appropriate size of digester to produce biogas is 500 cubic meters. From a study of feasibility of four projects proposed for biogas utilization in this study, it was found that using biogas as LPG substitution by compressing in the tank is a suitable method for the university community. The NPV is 482,470.38, B/C ratio = 1.12, IRR = 17.37 % and the payback period is 4.7 years. The results showed that this project has the economic possibility and cost-effective investment for biogas production and utilization in Khon Kaen university.

Keywords : Food waste, Animal manure, Biogas, Biogas production rate

*Corresponding author.

Email address: ratchaphon@kku.ac.th

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของประชาชนอย่างมาก ซึ่งเมื่อประชาชนมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ความต้องการการใช้พลังงานจึงมีอัตราสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้หน่วยงานต่างๆ มีการพัฒนาพลังงานทดแทนขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของประชาชน ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยนำเข้าพลังงานส่วนใหญ่จากต่างประเทศ ทำให้สูญเสียเงินตราออกนอกประเทศเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ทางหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนภายในประเทศ จึงมีการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนอื่นที่ได้จากทรัพยากรที่มีในพื้นที่ และก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทนชนิดหนึ่งที่มีการผลิตและใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพมีอยู่เป็นจำนวนมาก และจำเป็นต้องกำจัดทิ้ง เช่น เศษอาหาร และมูลสัตว์ เป็นต้น ดังนั้นสถานประกอบการที่มีปริมาณเศษอาหาร และมูลสัตว์ จำนวนมากจึงเหมาะแก่การผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นใช้เป็นพลังงานทดแทน

มหาวิทยาลัยขอนแก่นมีพื้นที่กว่า 5,500 ไร่ ซึ่งภายในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยประกอบด้วยคณะและหน่วยงานต่างๆเป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีจำนวนประชากรมากกว่า 50,000 คน อาศัยอยู่ภายในเขตพื้นที่ของมหาวิทยาลัย ซึ่งการดำเนินชีวิตของผู้คนในหลายๆ กิจกรรม ก่อให้เกิดขยะจำพวกเศษอาหารขึ้นจำนวนมาก อีกทั้งในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยประกอบด้วยคณะเกษตรศาสตร์ที่มีฟาร์มเลี้ยงสัตว์หลายชนิด เพื่อใช้เป็นสถานที่ศึกษาให้นักศึกษา ซึ่งในแต่ละวันมีมูลสัตว์เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก เศษอาหารและมูลสัตว์เหล่านี้หากไม่มีการจัดการกำจัดอย่างถูกวิธี จะก่อให้เกิดก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้น เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากของเสียในการผลิตพลังงาน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในเรื่องของการจัดการเศษอาหารและมูลสัตว์ที่มีในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญที่สุดในการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ คือ แนวทางการจัดการเก็บรวบรวมของเสียที่ถูกต้องและเป็นระบบ เพื่อสามารถนำของเสียมาใช้ได้อย่างคุ้มค่า ซึ่งจะต้องทำการศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการเก็บรวบรวมขยะภายในมหาวิทยาลัย และเมื่อได้ปริมาณที่รวบรวมได้ทั้งหมดจะนำไปศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการก่อสร้างสถานที่ผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นใช้

ภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งนับว่าเป็นการจัดการขยะที่มีอยู่ภายในชุมชนให้มีมูลค่ามากขึ้น เป็นการส่งเสริมให้มีการผลิตพลังงานขึ้นใช้เองภายในชุมชน และยังเป็นต้นแบบในการเก็บรวบรวมขยะให้แก่ชุมชนและสังคมต่อไปด้วย

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ ภายในมหาวิทยาลัย ขอนแก่น เพื่อศึกษาแนวทางในการจัดการเศษอาหารที่เหลือตามโรงอาหารต่างๆ และการจัดการมูลของสัตว์ ที่บริเวณฟาร์มเลี้ยงสัตว์คณะเกษตรศาสตร์ โดยรวบรวมเป็นวัตถุดิบสำหรับนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อทดลองผลิตก๊าซชีวภาพในสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างเศษอาหารและมูลสัตว์ เพื่อออกแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมตามปริมาณวัตถุดิบที่สามารถรวบรวมได้ และเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

2. แนวคิด และทฤษฎี ที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียที่มีอยู่ตามธรรมชาติชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในสภาวะไร้อากาศ (anaerobic digestion of the organic) โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสามารถติดไฟได้ องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 60-70 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 28-38 % และก๊าซอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น ประมาณ 2 % โดยมีกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพดังนี้ [1,2]

- 1) การย่อยสลายสารอินทรีย์
- 2) การแปรสภาพเป็นกรด
- 3) การผลิตมีเทน

ในสภาวะไร้อากาศหรือไร้ออกซิเจน สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่แบคทีเรียชนิดสร้างกรดหลั่งออกมาออกเซลล์ ผลที่ได้จะทำให้สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ถูกย่อยสลายกลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโนและกรดไขมัน เป็นต้น หลังจากนั้น สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กจะถูกแบคทีเรียดูดซึมเข้าสู่เซลล์และหลั่งเอนไซม์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในเซลล์ให้กลายเป็นกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนแล้วขับออกมาออกเซลล์

จากนั้น แบคทีเรียชนิดสร้างมีเทนจะย่อยสลายและเปลี่ยนกรดอะซิติกและไฮโดรเจนให้เป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จะลอยตัวขึ้นเหนือผิวน้ำและกระจายสู่บรรยากาศหรือถูกรวบรวมนำไปใช้ผลิตพลังงานทดแทนต่อไป

2.2 วัตถุประสงค์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เศษอาหาร และ มูลสัตว์ ซึ่งภายในมหาวิทยาลัย ขอนแก่นนั้น วัตถุประสงค์ที่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ คือ เศษอาหาร และมูลสัตว์ ดังนั้นในการจัดการเศษอาหาร และมูลสัตว์ภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น จะต้องมีการจัดการและวางแผนแนวทางในการดำเนินงานอย่างเป็นระบบและเหมาะสม โดยมีแนวคิดในการศึกษา ดังนี้

2.2.1 การเก็บรวบรวมเศษอาหาร

การจัดการวัตถุประสงค์ในส่วนของเศษอาหารสามารถจัดการตามนโยบายการจัดการของกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย ซึ่งมีเทคนิคในการดำเนินการในหลายๆ ประการ คือ ศึกษาแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอย จัดทำฐานข้อมูลเพื่อการวางแผนจัดการขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล จากนั้นจึงมีการคัดแยกขยะเพื่อหาปริมาณขยะจำพวกเศษอาหารเพื่อเป็นข้อมูลนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป [3]

2.2.2 การเก็บรวบรวมมูลสัตว์

การจัดการมูลสัตว์ สามารถทำได้โดยการเก็บข้อมูลจำนวนสัตว์ที่เลี้ยง จากนั้นทำการทดลองสังเกตพฤติกรรมของสัตว์ เพื่อหาข้อมูลปริมาณมูลสัตว์ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยได้พิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการเก็บหรือนำมูลสัตว์เหล่านั้นกลับมาใช้ตามสภาพความเป็นจริง เช่น โคเนื้อ กระบือ เป็ด และช้าง ซึ่งเป็นสัตว์ที่เลี้ยงในพื้นที่เปิด จะมีอัตราส่วนของมูลที่น่าจะเก็บได้ไม่เกิน 50 % ในขณะที่โคนม สุกร และไก่ ซึ่งจะมีลักษณะการเลี้ยงที่เป็นระบบปิดในฟาร์มหรือโรงเลี้ยง อาจสามารถเก็บมูลมาใช้ได้มากถึง 80 % ของมูลที่ถ่ายออกมาทั้งหมด [4,5]

2.3 การประเมินโครงการ

ในการประเมินโครงการ จะต้องออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production) ให้มีความคงทนและสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุดตามวัตถุประสงค์ การออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ขนาดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

จะต้องมีความเหมาะสมกับปริมาณวัสดุหมัก ระยะเวลาเก็บวัสดุหมักไว้ในถังหมัก และปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ในแต่ละวัน

การประเมินโครงการจะวิเคราะห์จากต้นทุนและผลตอบแทนที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้ดังนี้ [6]

(1) การพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของรายได้และรายจ่ายตลอดอายุโครงการ ซึ่งมูลค่าปัจจุบันสุทธิจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงจำนวนผลประโยชน์สุทธิที่จะได้รับจากโครงการตลอดระยะเวลาของโครงการซึ่งอาจจะมีค่าเป็นลบ เป็นศูนย์ หรือเป็นบวกก็ได้ขึ้นอยู่กับว่า มูลค่าปัจจุบันของรายได้ (PVB) หักด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน (PVC) ของโครงการนั้นจะเป็นอย่างไร โดยค่า NPV สามารถหาได้จาก

$$NPV = PVB - PV \quad (1)$$

หรือ

$$NPV = \sum_{t=1}^n B_t - \sum_{t=1}^n C_t = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

เมื่อ NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ

PVB = มูลค่าปัจจุบันของรายได้

PVC = มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน

B_t = ผลตอบแทนของโครงการในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ t

t = ปีของโครงการ คือ ปีที่ 0, 1, 2, ..., n

i = อัตราคิดลด

n = อายุของโครงการ(ปี)

ปีที่ 0 คือ ปีที่มีการลงทุนเริ่มแรก (initial investment)

หากค่า NPV มีค่ามากกว่า 0 หมายถึง ผลประโยชน์ตลอดอายุของโครงการมีมากกว่าต้นทุนโครงการ เมื่อคิดเวลาปัจจุบัน ซึ่งแสดงว่าโครงการมีความเป็นไปได้่าลงทุน

(2) การพิจารณาจากอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio หรือ B/C ratio)

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่าย โดยสามารถหาได้จาก

สมการ

$$B/C = \left(\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} \right) / \left(\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \right) \quad (3)$$

เมื่อ B/C = อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนในโครงการ ถ้า B/C ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับการลงทุนแสดงว่าน่าลงทุน แต่ถ้าค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับการลงทุนที่เสียไป

(3) การพิจารณาจากอัตราผลตอบแทนต่อการลงทุน (Internal rate of return : IRR)

อัตราผลตอบแทนต่อการลงทุน คือ อัตราผลตอบแทนที่ได้จากการลงทุน ซึ่งเป็นอัตราที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของรายรับเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการ ซึ่งค่า IRR สามารถหาได้จาก

$$\sum_{t=1}^n R_t / (1+k)^t = I \quad (4)$$

เมื่อ $R_t = B_t - C_t$

k = อัตราผลตอบแทนของโครงการที่คำนวณโดยวิธีลองผิดลองถูก (Trial & Error)

I = เงินลงทุนเริ่มต้น

เกณฑ์การตัดสินใจด้วยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Internal rate of return) ยอมรับโครงการเมื่อ IRR มากกว่า ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน (k) ปฏิเสธโครงการเมื่อ IRR น้อยกว่า หรือเท่ากับ ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน (k) ในกรณีที่ เป็นโครงการที่เป็นอิสระต่อกัน จะยอมรับทุกโครงการที่ IRR มากกว่า ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน และในกรณีโครงการที่เลือกมีได้เพียงโครงการเดียว จะยอมรับโครงการที่มีค่า IRR สูงที่สุด

(4) การพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB)

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลา(จำนวนปี) ที่ผลตอบแทนเท่ากับการลงทุน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาที่พิจารณาว่าได้รับจากโครงการว่าจะใช้เวลานานเท่าไรจึงจะคุ้มกับรายจ่ายที่ใช้ลงทุนพอดี ซึ่งค่าที่นี้คือค่าไรสุทธิ ซึ่งหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{รายได้สุทธิต่อปี}}$$

โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้น แสดงว่าการดำเนินการของโครงการนั้นสำเร็จไปได้ด้วยดี สามารถยอมรับโครงการได้

3. เปรียบเทียบวิธีการศึกษา

3.1 วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการเศษอาหารและมูลสัตว์ภายในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ โดยในการดำเนินงานได้ทำการศึกษาศักยภาพของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัย กล่าวคือ ทำการเก็บข้อมูลปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ซึ่งการเก็บข้อมูลเศษอาหารแบ่งระยะเวลาการเก็บข้อมูลเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาเปิดภาคการศึกษาปกติ และช่วงภาคการศึกษาฤดูร้อน เนื่องจากนักศึกษาและบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยดำเนินชีวิต และทำกิจกรรมต่างๆภายในมหาวิทยาลัยแตกต่างกันใน 2 ช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงและสามารถสรุปข้อมูลได้ตลอดทั้งปี สำหรับปริมาณมูลสัตว์ที่เกิดขึ้นในแต่ละวันนั้น ทำการเก็บข้อมูลโดยการศึกษาพฤติกรรมสัตว์ โดยกักบริเวณสัตว์ภายในคอกที่จำกัด จากนั้นให้อาหารและน้ำตามปกติ แล้วเก็บมูลสัตว์มาชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าเฉลี่ยปริมาณมูลสัตว์ต่อตัวต่อวัน เมื่อรวบรวมข้อมูลปริมาณวัตถุดิบได้แล้ว ทำการศึกษาศักยภาพการผลิตเป็นพลังงาน และทดลองผลิตก๊าซชีวภาพในขนาดระดับห้องปฏิบัติการ

3.2 วิธีการเก็บรวบรวมวัตถุดิบ

3.2.1 การจัดการเศษอาหาร

เศษอาหารเกิดจากสิ่งเหลือทิ้งในการประกอบอาหาร และเหลือจากการรับประทานอาหาร ซึ่งปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นในแต่ละวันนั้น แต่ละโรงอาหารมีการจัดเก็บเศษอาหารอย่างเป็นระบบที่สมบูรณ์แล้ว ดังนั้นการสำรวจปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ของโรงอาหารต่างๆภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น สามารถทำได้โดยตรวจวัดปริมาณเศษอาหาร โดยการชั่งน้ำหนักปริมาณเศษอาหารแล้วบันทึกหาค่าเฉลี่ยของปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นใน

แต่ละวัน โดยแบ่งช่วงการเก็บข้อมูลเป็นสองช่วงคือ ช่วงเปิดภาคการศึกษาปกติ และ ช่วงภาคการศึกษาฤดูร้อน โดยทำการเก็บข้อมูลปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันคือ แบ่งการเก็บข้อมูลเป็นการเก็บข้อมูลในวันเวลาราชการ(จันทร์-ศุกร์) เป็นเวลา 3 วัน และวันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์) 2 วัน เนื่องจากในวันเวลาราชการโรงอาหารทำการเปิดจำหน่ายอาหารทุกร้านอาหาร ส่วนวันหยุดราชการโรงอาหารบางแห่งปิดทำการ จากนั้นทำการสรุปข้อมูลเป็นปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นโดยการเฉลี่ยต่อวัน

3.2.2 การจัดการมูลสัตว์

ปัญหาของฟาร์มเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบัน คือ การจัดการมูลสัตว์และน้ำเสียซึ่งมีปริมาณมาก อีกทั้งปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นและแมลงวัน ซึ่งระบบบำบัดของเสียที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ คือ ระบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ เพราะนอกจากจะช่วยบำบัดของเสียแล้ว ยังมีผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพที่นำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ส่วนกากของเสียที่ผ่านการหมักแล้วสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยคอกได้อีกด้วย

การเก็บข้อมูลปริมาณมูลสัตว์ ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่างสัตว์แต่ละชนิด กักขังไว้ในคอกสัตว์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดำเนินชีวิตของสัตว์ในแต่ละวัน และจัดเก็บข้อมูลปริมาณมูลสัตว์ที่เกิดขึ้น แล้วเฉลี่ยปริมาณเป็นปริมาณมูลสัตว์ต่อตัวต่อวัน

3.3 การทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ

3.3.1 อุปกรณ์การทดลอง

บ่อหมักที่ใช้ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อทดลองผลิตก๊าซชีวภาพในครั้งนี้ สร้างขึ้นโดยใช้ถังอะคริลิกใสทรงลูกบาศก์ขนาด 10 ลิตร พื้นฐาน 400 ตารางเซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร ส่วนบนข้างถังเจาะรูเชื่อมต่อกับสายยางเพื่อส่งก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปเก็บไว้ในถังเก็บก๊าซชีวภาพที่เป็นลักษณะถังคว่ำอยู่ในถังน้ำอีกถังหนึ่ง โดยมีวาล์วควบคุมการปล่อยก๊าซอยู่ด้านบนของถังเก็บก๊าซ ภายในถังหมักมีปั้มน้ำบรรจุอยู่เพื่อปั้มน้ำให้เกิดน้ำวนขึ้นในระบบเป็นการกวนสารภายในถังให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในรูปการทดลองแบ่งออกเป็น 5 การทดลอง ตามอัตราส่วนของวัสดุที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ (มูลสัตว์ : เศษอาหาร) โดยแบ่งเป็นอัตราส่วน 1:0 3:1 1:1 1:3 และ 0:1 ซึ่งต่อไปนี้จะกำหนดเป็น M100 M75 M50 M25 และ M0 ตามลำดับ

หลังจากทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมแล้ว ทำการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพในสัดส่วนที่ดีที่สุดด้วยชุดทดลองผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 200 ลิตร และทำการทดลองในลักษณะกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous) โดยชุดทดลองนี้ทำจากถังพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.58 เมตร และมีความสูง 0.91 เมตร ปริมาตรจริงของถังประมาณ 200 ลิตร ใช้งานจริง 180 ลิตร เพื่อสร้างเป็นถังหมัก โดยส่วนของถังหมักก๊าซชีวภาพจะติดตั้งใบกวนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.40 เมตร อยู่ภายในถัง หมุนด้วยความเร็ว 10 รอบต่อนาที ใช้กำลังในการหมุนใบกวนจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้า แกนของใบกวนจะตั้งอยู่ในแนวตั้งต่อตรงจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของตัวถัง เพื่อกระตุ้นระบบให้เกิดการผสมผสานของวัสดุที่ใช้หมัก และกวนระบบให้ก๊าซที่แทรกอยู่ระหว่างวัสดุหมักลอยขึ้นเหนือผิวน้ำ และให้สารอาหารของจุลินทรีย์ในน้ำเสียได้สัมผัสกับจุลินทรีย์อย่างทั่วถึง จากนั้นต่อระบบส่งก๊าซไปที่ถังเก็บก๊าซชีวภาพโดยติดตั้งท่อพีวีซีขนาด 1/2 นิ้ว และต่อท่อพีวีซีกับสายส่งก๊าซ ถังเก็บก๊าซจะลอยสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณก๊าซชีวภาพมากขึ้น ที่ระบบส่งก๊าซมีการต่อท่อแยกก๊าซมาวิเคราะห์ความดันในระบบด้วยบารอมิเตอร์อย่างง่าย

3.3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มจากการบ้อนวัตถุดิบเพียงครั้งเดียว (Batch) โดยทดลองในสัดส่วน มูลสัตว์ต่อเศษอาหารที่แตกต่างกัน 5 สัดส่วน คือ 1:0 3:1 1:1 1:3 และ 0:1 ในการทดลองทำการเจาะจางวัตถุดิบกับน้ำในอัตราส่วน 1:12 โดยทำการศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองวัดหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และวัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้ จากนั้นพิจารณาสัดส่วนที่ดีที่สุด จากนั้นทำการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous) โดยใช้สัดส่วนที่ดีที่สุดเจาะจางกับน้ำในอัตราที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบค่า COD ที่แตกต่างกัน 5 ค่า คือ สัดส่วนวัตถุดิบต่อน้ำ 1:4 1:3 1:2 1:1 และ 2:1 ซึ่งต่อไปนี้จะกำหนดเป็น C1 C2 C3 C4 และ C5 ตามลำดับ โดยบ่อน้ำเสียในการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน โดยบ่อน้ำ C1 สู้งานวันที่ 1-6 และค่า C2 C3 C4 และ C5 บ่อน้ำเข้าสู่ถังในทุกวัน ๆ 6 วัน เพื่อนำผลการทดลองมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพตามผลการศึกษาศักยภาพของวัตถุดิบที่มีอยู่จริง จากนั้นศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษอาหารและ

มูลสัตว์มาผลิตก๊าซชีวภาพ ภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยศึกษาถึงขนาดรูปแบบบ่อหมัก วิธีการจัดเก็บวัตถุดิบ ต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นของโครงการ และทำการศึกษารูปแบบการใช้ก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมและเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อกำหนดเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

3.4 รูปแบบการใช้ก๊าซชีวภาพ

โดยรูปแบบที่นำมาศึกษาการใช้ครั้งนี้ มี 4 รูปแบบ คือ

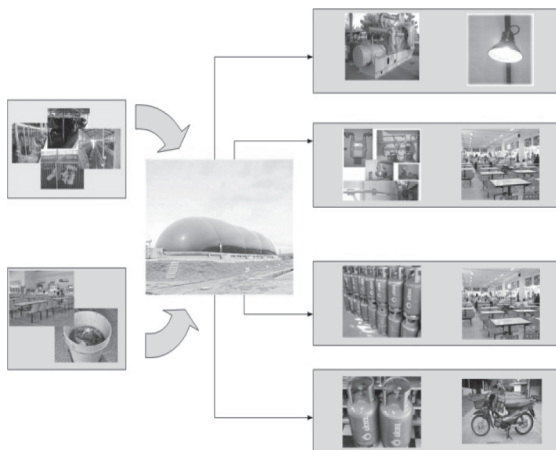
รูปแบบที่ 1 การใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ภายในมหาวิทยาลัย

รูปแบบที่ 2 การใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้ม ในโรงอาหารศูนย์อาหารหนองแวงโดยการเดินท่อ

รูปแบบที่ 3 การใช้ก๊าซชีวภาพเพื่ออัดบรรจุถังทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้ม

รูปแบบที่ 4 การผลิตก๊าซชีวภาพเพื่ออัดบรรจุถังทดแทนการใช้น้ำมันเบนซินโดยใช้กับรถจักรยานยนต์

สำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในรูปแบบต่างๆ สรุปได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังระบบผลิตและรูปแบบการใช้ก๊าซชีวภาพ

4. ผลการศึกษา

จากการศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูล รวมถึงการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

4.1 ศักยภาพวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ

4.1.1 ศักยภาพการผลิตพลังงานจากเศษอาหาร

จากการสำรวจโรงอาหารภายในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นจำนวน 13 แห่ง ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณเศษอาหารเป็น 2 ช่วงข้อมูล คือ ช่วงภาคการศึกษาฤดูร้อน (เดือนมีนาคม-เดือนพฤษภาคม) และช่วงเปิดภาคการศึกษาปกติ (เดือนมิถุนายน-เดือนกุมภาพันธ์) โดยการเก็บข้อมูลจะใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก ซึ่งวัดปริมาณเศษอาหารในช่วงเวลาเย็นของแต่ละวัน จำนวน 5 วัน แบ่งเป็นวันเวลาราชการ 3 วัน และวันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์) 2 วัน โดยข้อมูลปริมาณเศษอาหารช่วงภาคการศึกษาฤดูร้อนและภาคการศึกษาปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 798.14 และ 1,053.79 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ เมื่อทำการเฉลี่ยโดยถ่วงน้ำหนักตามระยะเวลาจะได้ค่าเฉลี่ย 989.88 กิโลกรัมต่อวัน

4.1.2 ศักยภาพการผลิตพลังงานจากมูลสัตว์

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีฟาร์มเลี้ยงสัตว์เพื่อใช้เป็นที่สำหรับสอนนักศึกษา จำนวน 5 ชนิด คือ โคเนื้อ ไก่เนื้อ กระบือ สุกร และไก่ ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณมูลสัตว์โดยการทดลองกักบริเวณสัตว์ไว้ในคอก แล้วเก็บมูลสัตว์ที่เกิดขึ้นในแต่ละวันไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าเฉลี่ยปริมาณมูลสัตว์ที่เกิดขึ้น แล้วเฉลี่ยเป็นปริมาณมูลสัตว์ต่อตัวต่อวัน แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณมูลสัตว์ทั้งหมด พบว่าปริมาณมูลสัตว์ที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยมีปริมาณเท่ากับ 1,716.57 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งปริมาณและสัดส่วนมูลสัตว์ที่เกิดขึ้นของมูลโคเนื้อ ไก่เนื้อ กระบือ สุกร และไก่ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณและสัดส่วนมูลสัตว์

ชนิดสัตว์	ปริมาณมูลสัตว์ที่ได้ (กก/วัน)	สัดส่วนมูลสัตว์ (%)
โคเนื้อ	408.33	23.79
โคเนื้อ	1,010.00	58.84
กระบือ	160.00	9.32
สุกร	111.84	6.52
ไก่	26.40	1.54
รวม	1,716.57	100.00

4.1.3 ผลการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและมูลสัตว์โดยใช้ถังหมักในระดับห้องปฏิบัติการขนาด 10 ลิตร (แต่ใช้น้ำเสียเป็นวัตถุดิบในการทดลองหมักก๊าซชีวภาพจริง 6 ลิตร) ทำการเจือจางวัตถุดิบกับน้ำในอัตราส่วน 1:12 โดยปริมาตร ทดลองในสัดส่วน มูลสัตว์ต่อเศษอาหารที่แตกต่างกัน 5 สัดส่วน กำหนดเป็น M100 M75 M50 M25 และ M0 ตามลำดับ ก่อนทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติต่างๆของวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ และหาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปริมาณวัตถุดิบ โดยการทดลองแบบป้อนวัตถุดิบเพียงครั้งเดียว (Batch) จากนั้นวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ และศึกษาคุณสมบัติต่างๆของวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพอีกครั้ง หลังการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัตินี้ ผลที่ได้จากการทดลองมีดังนี้

1) คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ

คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าคุณสมบัติต่างๆ ก็เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพได้เช่นกัน

2) อัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของค่า VS TS และ COD

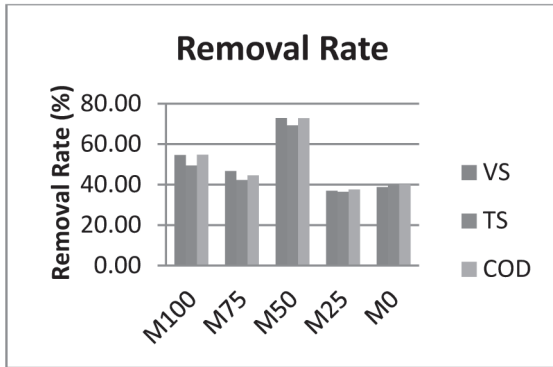
อัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของค่า VS TS และ COD แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งอัตราที่ลดลงของค่าต่างๆเหล่านี้ เกิดจากการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้หมักก๊าซชีวภาพไปเป็นก๊าซมีเทนจากการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนในระบบ โดยปกติอัตราการลดลงของค่าเหล่านี้จะอยู่ในช่วง 40-60 % จากการทดลองวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ (ก่อนทดลอง)

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวอย่างน้ำเสียตามสัดส่วน (มูลสัตว์ : เศษอาหาร)				
		M100	M75	M50	M25	M0
pH		7.30	6.88	6.54	4.76	7.10
BOD	mg/l	1,725	1,650	2,250	8,400	10,850
COD	mg/l	4,106	6,181	7,591	18,666	23,297
Total Solids	mg/l	5,036	7,096	6,884	13,548	15,628
Volatile Solids	mg/l	2,906	4,422	4,482	11,675	14,112
Fatty Acids	as acetic acids	1,119	1,721	2,354	5,274	6,669
Ammonia Nitrogen	mg/l	88.5	97.8	126	30.9	42
Total Kjeldahl Nitrogen	mg/l	268	344	367	736	874

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ (หลังทดลอง)

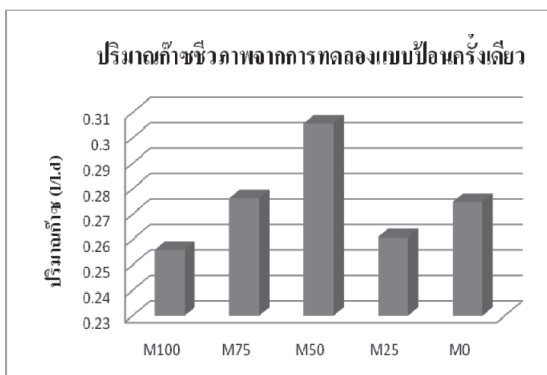
พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวอย่างน้ำเสียตามสัดส่วน (มูลสัตว์ : เศษอาหาร)				
		M100	M75	M50	M25	M0
pH		8.29	8.39	8.3	6.84	7.82
BOD	mg/l	1,050	2,040	1,110	6,000	7,010
COD	mg/l	1,859	3,430	2,066	11,652	13,938
Total Solids	mg/l	2,545	4,100	2,120	8,610	9,453
Volatile Solids	mg/l	1,320	2,360	1,215	7,364	8,650
Fatty Acids	as acetic acids	452	555	472	843	911
Ammonia Nitrogen	mg/l	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.1
Total Kjeldahl Nitrogen	mg/l	106	246	78.4	412	411



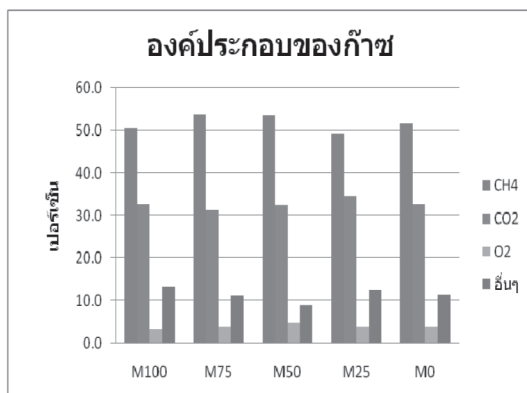
รูปที่ 2 อัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของค่า VS TS และ COD

3) ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการทดลองแบบป้อนครั้งเดียว

จากการทดลองแบบเติมครั้งเดียว (Batch) โดยไม่มีการป้อนวัตถุดิบลงสู่ถังหมักอีกขณะทดลอง ทดลองในระยะเวลา 20 วัน ปล่อยให้เกิดก๊าซจนสังเกตเห็นว่าไม่มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นอีกต่อไป จากนั้นนำปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาเฉลี่ยหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ต่อปริมาตรของวัตถุดิบ แสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 4 องค์ประกอบของก๊าซต่างๆในก๊าซชีวภาพ

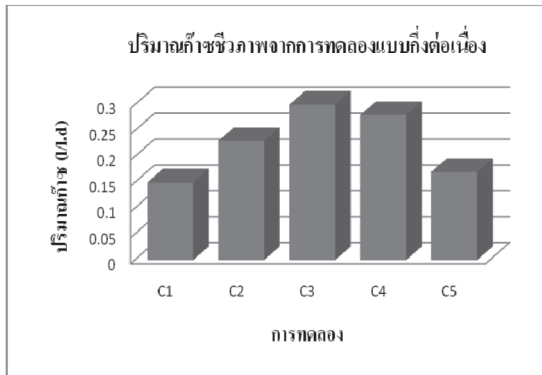
4) องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบก๊าซชีวภาพโดยส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ทดลองผลิตก๊าซชีวภาพมีความเหมาะสมในการผลิต สัดส่วนที่มูลสัตว์และเศษอาหารที่เหมาะสมในการผลิต คือ M50 มูลสัตว์ต่อเศษอาหารสัดส่วน 1:1 ซึ่งมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของค่า VS TS และ COD เป็นอัตราที่แสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพดีที่สุด ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุด 73.34 ลิตรต่อกิโลกรัม โดยองค์ประกอบก๊าซมีเทนและก๊าซอื่นๆ อยู่ในช่วงที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และจากการจัดการเศษอาหารและมูลสัตว์ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณเศษอาหาร 989.88 กิโลกรัมต่อวัน และมูลสัตว์ 1,716.57 กิโลกรัมต่อวัน จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำปริมาณเศษอาหารมาใช้ได้ 100% แต่ใช้มูลสัตว์ที่เป็นมูลผสมเพียงบางส่วนคือปริมาณ 989.88 กิโลกรัม ซึ่งจะตรงกับสัดส่วนมูลสัตว์และเศษอาหารที่ต้องการคือ 1:1 และเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์กับวัสดุหมัก 1,979.76 กิโลกรัมต่อวัน จะสามารถประเมินการผลิตก๊าซชีวภาพได้ 145,195.60 ลิตรต่อวัน

5) ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง

ทำการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous) ในถังขนาด 200 ลิตร โดยใช้สัดส่วนที่ดีที่สุดเจือจางกับน้ำในอัตราที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบค่า COD ที่แตกต่างกัน 5 ค่า คือสัดส่วนวัตถุดิบต่อน้ำ 1:4 1:3 1:2 1:1 และ 2:1 จะมีค่า COD คือ 0.018 0.023 0.030 0.046 0.061 กิโลกรัม COD ต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งต่อไปนี้จะกำหนดเป็น C1 C2 C3 C4 และ C5 ตามลำดับ โดยป้อนน้ำเสียในการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน โดยป้อนค่า C1 สู่ถังในวันที่ 1-6 และค่า C2 C3 C4 และ C5 ป้อนเข้าสู่ถังในทุกๆ 6 วันต่อมา และได้ปริมาณก๊าซชีวภาพดังรูปที่ 5 ซึ่งพบว่าในช่วงการทดลอง C3 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพในอัตราที่สูงที่สุด ดังนั้นการเจือจางน้ำเสียในการผลิตก๊าซชีวภาพที่สัดส่วนวัตถุดิบต่อน้ำ 1:2 เป็นสัดส่วนที่ดีที่สุดเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป



รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง

4.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพในมหาวิทยาลัย ขอนแก่น

4.2.1 การประเมินขนาดบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับปริมาณวัตถุดิบ ในมหาวิทยาลัยขอนแก่น

การคำนวณหาขนาดบ่อหมักก๊าซชีวภาพสามารถคำนวณได้จาก 2 ส่วน คือ ขนาดของบ่อย่อยสลาย และขนาดที่เก็บก๊าซชีวภาพ โดยในส่วนของบ่อย่อยสลายวิเคราะห์จากปริมาณเศษอาหารและมูลสัตว์ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพคือ 1,979.76 กิโลกรัม (มูลสัตว์ 989.88 กิโลกรัม กับเศษอาหาร 989.88 กิโลกรัม) โดยให้ความหนาแน่นของเศษอาหารและมูลสัตว์สดมีค่าเท่ากับ ความหนาแน่นของน้ำ คือ 1 กิโลกรัมต่อลิตร คิดเป็นวัสดุหมัก 1,979.76 ลิตร และผสมน้ำในอัตราส่วน 1:2 จะได้ปริมาณสารขึ้นเหลวที่ได้ 5,939.28 ลิตร (วัสดุหมัก 1,979.76 ลิตร ผสมกับน้ำ 3,959.52 ลิตร) กำหนดระยะเวลาในการกักเก็บเป็น 80 วัน เนื่องจากการกักเก็บวัสดุหมักจะต้องมีระยะเวลาอยู่ในช่วงเวลาที่เหมาะสม การกักเก็บในระยะเวลาสั้นทำให้เกิดก๊าซในปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ระยะเวลากักเก็บยิ่งนานขึ้น ความสามารถในการย่อยสลายจะลดลง เพื่อความเหมาะสมต่อการออกแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพจึงกำหนดระยะเวลากักเก็บเป็นระยะเวลาดังกล่าว ดังนั้นเมื่อคำนวณหาปริมาตรบ่อย่อยสลายจากปริมาณสารขึ้นเหลวคูณด้วยระยะเวลากักเก็บจะได้บ่อขนาด 475,142.40 ลิตร หรือ 475.14 ลูกบาศก์เมตร และในส่วนของที่เก็บก๊าซชีวภาพคำนวณได้โดย วิเคราะห์จากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยวิเคราะห์ปริมาณก๊าซจากการทดลองในสัดส่วนที่ดีที่สุด ได้ก๊าซ 73.34 ลิตรต่อกิโลกรัม เมื่อวัสดุหมัก 1,979.76 กิโลกรัมต่อวัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 145,195.60 ลิตร

ต่อวัน และค่าความจุของที่เก็บก๊าซ คิดเป็น 80% จะได้ปริมาตรที่เก็บก๊าซชีวภาพขนาด 116,156.48 ลิตร หรือ 116.16 ลูกบาศก์เมตร จากขนาดถังย่อยสลายและที่เก็บก๊าซชีวภาพที่คำนวณได้ พบว่าอัตราส่วนระหว่างถังย่อยสลายและที่เก็บก๊าซชีวภาพ คือ 4:1 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ (1:1 ถึง 7:1) [7] และจากขนาดปริมาตรบ่อย่อยสลาย 475.14 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบของบ่อหมักก๊าซชีวภาพ จึงประเมินให้ขนาดบ่อหมักมีขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร โดยพื้นที่การก่อสร้างบ่อก๊าซชีวภาพจัดให้อยู่พื้นที่ว่างบริเวณฟาร์มเลี้ยงสัตว์ของมหาวิทยาลัย เนื่องจากมีการขนส่งวัตถุดิบในส่วนของมูลสัตว์ที่สะดวก และไม่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อสภาพแวดล้อมใกล้เคียง

4.2.2 การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์หาแนวทางที่เหมาะสมในการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทำการวิเคราะห์การใช้ก๊าซชีวภาพ 4 รูปแบบ ดังนี้

- รูปแบบที่ 1 การใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย
- รูปแบบที่ 2 การใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้มในโรงอาหารศูนย์อาหารหนองแวงโดยการเดินท่อ
- รูปแบบที่ 3 การใช้ก๊าซชีวภาพเพื่ออัดบรรจุถังทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้ม
- รูปแบบที่ 4 การผลิตก๊าซชีวภาพเพื่ออัดบรรจุถังทดแทนการใช้น้ำมันเบนซินโดยใช้กบฏจักรยานยนต์

การวิเคราะห์การใช้ก๊าซชีวภาพ 4 รูปแบบ วิเคราะห์จากข้อมูลการลงทุนและผลตอบแทนจากการก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพ โดยการคำนวณ หามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio หรือ B/C ratio) อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) โดยกำหนดสมมติฐาน ดังนี้

- 1) ระยะโครงการ 10 ปี
- 2) ดำเนินการ 300 วันต่อปี
- 3) อัตราผลตอบแทนต่ำสุด 10%
- 4) บ่อหมักชนิด Cover lagoon
- 5) ปริมาณกากแห้งจากสารขึ้นเหลว 25 %
- 6) ราคากากปุ๋ยจากการผลิตก๊าซชีวภาพกิโลกรัมละ 1 บาท

เมื่อพิจารณาต้นทุนในการสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตตลอดปี พบว่ามีค่าใช้จ่ายส่วนของต้นทุนในการสร้างระบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 900,437.94 บาท และส่วนของค่าดำเนินการผลิต จำนวน 409,419 บาท ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ต้นทุนในการสร้างระบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร

ค่าใช้จ่ายลงทุนเริ่มต้น	เงินลงทุน(บาท)
1. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	623,437.94
2. อุปกรณ์เพิ่มเติมในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	77,000.00
3. ค่ายานพาหนะและอุปกรณ์ขนส่ง	100,000.00
4. อาคารสำนักงาน	100,000.00
รวม	900,437.94

ตารางที่ 5 ต้นทุนในการดำเนินงานในระบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	เงินลงทุน(บาท/ปี)
1. วัตถุดิบ	84,000
2. กำลังคน	306,000
3. ค่าใช้จ่ายด้านสาธารณูปโภค	7,419
4. ค่าบำรุงรักษาระบบ	12,000
รวม	409,419

จากปริมาณกากของเสียหลังการผลิตก๊าซชีวภาพที่ปริมาณสารขึ้นเหลว 5,939.28 ลิตรต่อวัน คิดปริมาณกากแห้งประมาณ 25% ดังนั้นเป็นกากแห้ง 1,484.82 กิโลกรัมต่อวัน พิจารณาที่ระยะเวลาดำเนินการ 300 วัน คิดเป็น 445,446 กิโลกรัมต่อปี ขยายในอัตรา 1 กิโลกรัมจะได้ 1 บาท จะได้จากการขายกาก 445,446 บาทต่อปี และ จากผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้ก๊าซชีวภาพ 4 รูปแบบ มีผลดังนี้

ตารางที่ 6 ค่าการเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์

รูปแบบที่	NPV	B/C Ratio	IRR	ระยะคืนทุน
1	-896,570.38	0.80	ต่ำกว่า 1 %	มากกว่า 10 ปี
2	107,730.05	1.02	11.37 %	5 ปี 10 เดือน
3	482,470.38	1.12	17.37 %	4 ปี 7 เดือน
4	363,677.94	1.05	14 %	5 ปี 3 เดือน

รูปแบบที่ 1 การใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย

จากการพิจารณา ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร ผลิตไฟฟ้าได้ 1.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังนั้นก๊าซชีวภาพ 144.32 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตไฟฟ้าได้วันละ 173.18 กิโลวัตต์ชั่วโมง (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท) เมื่อพิจารณาเวลาทำการ 300 วันต่อปี คิดเป็นเงิน 155,862 บาทต่อปี และรายได้จากการขายกาก 445,446 บาทต่อปี ดังนั้นรายได้จากระบบทั้งหมดคิดเป็นเงิน 601,308 บาทต่อปี โดยมีต้นทุนเพิ่มเติมจากการก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพคือ เครื่องปั่นไฟขนาด 20 กิโลวัตต์ 500,000 บาท และค่าบำรุงรักษาเครื่องปั่นไฟปีละ 49,200 บาท [10]

จากข้อมูลดังกล่าว นำมาคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าค่า NPV เท่ากับ -896,570.38 บาท ค่า B/C ratio มีค่า 0.80 IRR มีค่าต่ำกว่า 1 % และโครงการมีระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 10 ปี นับว่าเป็นโครงการที่ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน

รูปแบบที่ 2 การใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้มในโรงอาหารศูนย์อาหารหนองแวงโดยการเดินระบบท่อก๊าซ

จากการพิจารณา ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร องค์กรประกอบก๊าซมีเทน 53.5% โดยปริมาตร มีค่าความร้อน 19.17 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นก๊าซชีวภาพ 144.32 ลูกบาศก์เมตร คิดค่าความร้อนเป็น 2,766.61 เมกะจูล เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับก๊าซหุงต้ม LPG โดยก๊าซหุงต้ม LPG 1 กิโลกรัม มีค่าความร้อน 50.2 เมกะจูล (ก๊าซหุงต้ม LPG 17 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อวันที่ 1 กันยายน 2554) พบว่าค่าความร้อน 50.2 เมกะจูล มีค่า 17 บาท ดังนั้นก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้วันละ 144.32 ลูกบาศก์เมตร มีค่าความร้อนทั้งหมด 2,766.61 เมกะจูล คิดเป็นเงิน 936.90 บาทต่อวัน เมื่อพิจารณาเวลาทำการ 300 วันต่อปี คิดเป็นรายได้ 281,070 บาทต่อปี โดยต้นทุนเพิ่มเติมจากการก่อสร้างระบบก๊าซ

ชีวิภาพคือ เครื่องสูบลูกและส่งก๊าซชีวิภาพ 300,000 บาท ค่าบำรุงรักษาเครื่องสูบลูกและส่งก๊าซชีวิภาพปีละ 12,000 บาท ค่าระบบเดินท่อก๊าซ 1.8 กิโลเมตรโดยใช้ท่อพีอีและอุปกรณ์อื่นๆ รวมถึงการขุดลอกคูคลองเพื่อวางท่อก๊าซ เป็นเงิน 212,500 บาท และค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องสูบลูกและส่งก๊าซชีวิภาพปีละ 1,080 บาท

จากข้อมูลดังกล่าว นำมาคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ค่า NPV มีค่าเท่ากับ 107,730.05 บาท ค่า B/C ratio มีค่า 1.02 ค่า IRR = 11.37 % และโครงการมีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 10 เดือน

รูปแบบที่ 3 การใช้ก๊าซชีวิภาพเพื่ออัดบรรจุถังทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้ม

จากการวิเคราะห์ก๊าซชีวิภาพที่ผลิตได้ 144.32 ลูกบาศก์เมตร เมื่อนำไปอัดบรรจุถังเพื่อใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม LPG ขนาดถัง 15 กิโลกรัม สามารถอัดก๊าซชีวิภาพได้ 0.54 กิโลกรัมต่อถัง ที่ความดัน 15 บาร์ จากค่าความหนาแน่นของก๊าซชีวิภาพ 1.15 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าก๊าซชีวิภาพ 0.54 กิโลกรัม คิดเป็น 0.47 ลูกบาศก์เมตร พบว่าสามารถอัดก๊าซชีวิภาพปริมาณ 144.32 ลูกบาศก์เมตร ได้ทั้งหมด 20 ถัง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อน ก๊าซ LPG 1 กิโลกรัม มีค่าความร้อน 50.2 เมกะจูล และก๊าซชีวิภาพที่ผลิตได้ มีองค์ประกอบก๊าซมีเทน 53.5% โดยปริมาตร มีค่าความร้อน 19.17 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ก๊าซชีวิภาพ 1 ถัง มีค่าความร้อน 135.15 เมกะจูล (ก๊าซหุงต้ม LPG 17 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อวันที่ 1 กันยายน 2554) จากราคาก๊าซหุงต้ม LPG พบว่าค่าความร้อน 50.2 เมกะจูล มีค่า 17 บาท ดังนั้นก๊าซชีวิภาพ 1 ถัง ค่าความร้อน 135.15 เมกะจูล คิดเป็นเงินถึงละ 45 บาท ระยะเวลา 1 วันผลิตก๊าซชีวิภาพได้ 20 ถัง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเวลาทำการ 300 วันต่อปี คิดเป็นเงิน 270,000 บาทต่อปี และรายได้จากการขายกาก 445,446 บาทต่อปี ดังนั้นรายได้จากระบบทั้งหมดคิดเป็นเงิน 715,446 บาทต่อปี โดยมีต้นทุนเพิ่มเติมจากการก่อสร้างระบบก๊าซชีวิภาพคือ เครื่องอัดก๊าซชีวิภาพ 50,000 บาท ราคาถังบรรจุก๊าซ 20,000 บาท ค่าไฟฟ้าสำหรับการบรรจุก๊าซลงถัง ใช้ไฟฟ้าในการอัด 0.26 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม [10] เป็นเงินค่าไฟฟ้าสำหรับอัดก๊าซชีวิภาพ 0.4212 บาทต่อถัง วันละ 20 ถัง เป็นเงิน 8.42 บาทต่อวัน หรือ 2,527.20 บาทต่อปี

จากข้อมูลดังกล่าว นำมาคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ค่า NPV มีค่าเท่ากับ 482,470.38 บาท ค่า B/C ratio มีค่า 1.12 ค่า IRR = 17.37 % และโครงการมีระยะเวลาคืนทุน 4 ปี 7 เดือน

รูปแบบที่ 4 การผลิตก๊าซชีวิภาพเพื่ออัดบรรจุถังใช้กับรถจักรยานยนต์ทดแทนการใช้น้ำมันเบนซิน

จากการวิเคราะห์ก๊าซชีวิภาพที่บรรจุถังตามรูปแบบที่ 3 พบว่า ก๊าซชีวิภาพ 1 ถัง ให้ค่าความร้อนทั้งหมด 135.15 เมกะจูลเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซิน โดยน้ำมันเบนซิน 1 ลิตร มีค่าความร้อนเท่ากับ 39.94 เมกะจูล (น้ำมันเบนซิน 35.37 บาท/ลิตรเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2554) พบว่า ค่าความร้อน 39.94 เมกะจูลมีค่า 35.37 บาท ดังนั้น ก๊าซชีวิภาพ 1 ถัง มีค่าความร้อน 135.15 เมกะจูลมีค่าถึงละ 119.68 บาท สำหรับการใช้ทดแทนน้ำมันเบนซิน เมื่อผลิตก๊าซชีวิภาพได้วันละ 20 ถัง และพิจารณาเวลาทำการ 300 วันต่อปี คิดเป็นเงิน 718,080 บาทต่อปี และรายได้จากการขายกาก 445,446 บาทต่อปี ดังนั้นรายได้จากระบบทั้งหมดคิดเป็นเงิน 1,163,526 บาทต่อปี โดยมีต้นทุนเพิ่มเติมจากการก่อสร้างระบบก๊าซชีวิภาพคือ เครื่องอัดก๊าซชีวิภาพ 50,000 บาท ราคาถังบรรจุก๊าซ 20,000 บาท ค่าตัดแปลงเครื่องยนต์สำหรับใช้ก๊าซชีวิภาพกับจักรยานยนต์คันละ 15,000 บาท เมื่อพิจารณาจากการปรับปรุงเครื่องยนต์ในรถจักรยานยนต์ที่มีแต่เดิมจำนวน 20 คัน เป็นเงินค่าตัดแปลงเครื่องยนต์ 300,000 บาทเพื่อให้เหมาะสมกับปริมาณก๊าซชีวิภาพที่ผลิตได้ต่อวันค่าไฟฟ้าในการอัดก๊าซชีวิภาพบรรจุถัง จากโครงการที่ 3 พบว่าเป็นเงิน 2,527.20 บาทต่อปีและพิจารณาค่าบำรุงรักษาเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์ 20 คันที่มีการตัดแปลงคันละ 1,500 บาทต่อเดือน เป็นเงิน 360,000 บาทต่อปี

จากข้อมูลดังกล่าว นำมาคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าค่า NPV มีค่าเท่ากับ 363,677.94 บาท ค่า B/C ratio มีค่า 1.05 ค่า IRR = 14 % และโครงการมีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 3 เดือน

5. สรุปผล

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างบ่อหมักก๊าซชีวิภาพจากเศษอาหารและมูลสัตว์ เพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนแทนภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่าศักยภาพของวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตก๊าซชีวิภาพ ได้แก่

ปริมาณเศษอาหาร 989.88 กิโลกรัมต่อวัน และมูลสัตว์ 1,716.57 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า สัดส่วนที่มูลสัตว์และเศษอาหารที่เหมาะสมในการผลิต คือ M50 มูลสัตว์ต่อเศษอาหารสัดส่วน 1:1 และจากผลการทดลองปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ คือ 73.34 ลิตรต่อกิโลกรัม จากข้อมูลดังกล่าว สามารถประเมินขนาดบ่อหมักก๊าซชีวภาพได้ 500 ลูกบาศก์เมตร และเมื่อเปรียบเทียบค่าทางเศรษฐศาสตร์ในโครงการการใช้ก๊าซชีวภาพในรูปแบบต่างๆ 4 รูปแบบ พบว่า รูปแบบที่ 3 การผลิตก๊าซชีวภาพเพื่ออัดบรรจุถังทดแทนก๊าซหุงต้ม LPG เป็นรูปแบบการใช้ก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับชุมชนมหาวิทยาลัยขอนแก่น เนื่องจากการผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าระบบบ่อก๊าซชีวภาพมีต้นทุนในการก่อสร้าง 900,437.94 บาท ค่าดำเนินงานรายปี 409,419 บาท ค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากการดำเนินงานระบบผลิตก๊าซชีวภาพคือ เครื่องอัดก๊าซชีวภาพ 50,000 บาท ราคาถังบรรจุก๊าซ 20,000 บาท ค่าไฟฟ้าสำหรับการบรรจุก๊าซถึง 2,527.20 บาทต่อปี ผลตอบแทนที่ได้ปีละ 715,446 บาท ค่า NPV มีค่าเท่ากับ 482,470.38 บาท ซึ่งมีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าโครงการมีความเป็นไปได้ น่าลงทุน ค่า B/C ratio มีค่า 1.12 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับการลงทุน ค่า IRR = 17.37 % ซึ่งมีค่ามากกว่าผลตอบแทนต่ำสุดที่คาดหวัง (10%) และโครงการมีระยะเวลาคืนทุน 4 ปี 7 เดือน ดังนั้นโครงการจึงเป็นที่ยอมรับได้ และเหมาะสมแก่การลงทุน แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้ทราบแนวทางในการเก็บรวบรวมวัตถุดิบในการผลิต ควรมีการศึกษาหาแนวทางที่ชัดเจนต่อไป ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความยั่งยืนของโครงการ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ฝ่ายวิจัยและการถ่ายทอดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น และกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ผู้เขียนขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Biogas Technology Office. Biogas Theory, Sciences and Technology Research Institute, Chiang Mai University ; 2006. (in Thai).
- [2] Wattanakosol T. Database of Biogas Production System in Cassava Starch Factory, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi ; 2005. (in Thai).
- [3] Department of Local Administration. Waste Management Standard. Ministry of Interior. (in Thai).
- [4] Wongapai W. Animal Manure to Energy : Worth Waste, Faculty of Engineering, Chiang Mai University ; 2009. (in Thai).
- [5] Kiatpakdee V. and Jaisuk S. Biogas Utilization, Project of Biogas Production in Farm, Biogas Advisory Unit, Chiang Mai University ; 1995. (in Thai).
- [6] Deelear P. 2551. Cost Analysis and Biogas Production Compensation From Small Pig Farm. Faculty of Economics, Chiang Mai University ; 2008. (in Thai).
- [7] Project of Sciences and Technology for Community and Sustainable Development. Design and Construction of Biogas Reactor, National Science and Technology Development Agency ; 2001. (in Thai).
- [8] Baebyang N. and Ittipratiep A. A Study of Biogas Production Potential from Cow Manure in Chaok Chai Farm [Independent Study], Naresuan University; 2007. (In Thai).
- [9] LPG/CNG Installation Collection Center, 2010 [cited 2011 Sep 25] Available from: URL:<http://www.gasthai.com/energy/article/html/130.html>
- [10] Singbua P. A Study of Biogas Motorcycle Model [M.Eng. Thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2010. (In Thai).