

## การวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรเป็นเชื้อเพลิง An Analysis of a Small Scale Pig's Dung Biogas Electrical Power Generation System

เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์<sup>1</sup> วัฒนา กสิกุล<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

<sup>2</sup>หลักสูตรการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

โทร 0-2870-4500-27 โทรสาร 0-2870-4528 E-mail: jensak@engineer.com

Jensak Eakburanawat<sup>1</sup> Watana Kasikoon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, South-East Asia University, Nongkham, Bangkok 10160

<sup>2</sup>Engineering Management Program, Graduate School, South-East Asia University, Nongkham, Bangkok 10160

Tel. 0-2870-4500-27 Fax. 0-2870-4528 E-mail: Jensak@engineer.com

### บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรเป็นเชื้อเพลิง ระบบที่ทำการวิเคราะห์นั้นเป็นทั้งระบบที่ใช้เป็นพลังงานทดแทน และใช้แก้ไขมลภาวะที่เกิดจากฟาร์ม โดยระบบที่ใช้ประกอบไปด้วยบ่อผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร ระบบผลิตไฟฟ้าที่มีตัวต้นกำลังที่เป็นเครื่องยนต์แบบใช้ก๊าซ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยได้ทำการตรวจวัดปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่จ่ายให้กับเครื่องยนต์ ปริมาณของกำลังไฟฟ้า คุณภาพของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของระบบคิดจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 120 ลูกบาศก์เมตร อายุการใช้งานของระบบ 15 ปี เติมน้ำมันเครื่อง 6 ชั่วโมงต่อวัน ที่กำลังการผลิตสูงสุด 18 กิโลวัตต์ ราคาค่าไฟฟ้า 3.80 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง เมื่อคิดค่าใช้จ่ายต่างๆ ทั้งหมด ซึ่งไม่รวมค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเจ้าของกิจการลงทุนเองโดยไม่มีเงินสนับสนุน จะมีอัตราผลตอบแทนการลงทุน IRR 10.91 % โดยมีระยะเวลาคืนทุน 8 ปี

### Abstract

This paper is an analysis of the efficiency and potential economic return of a small scale pig's dung biogas electrical power generation system. This analysis illustrates that the system can produce renewable energy and helps solve environmental issues of pig farm. The system consists of a pig's dung biogas pond and an electrical power generation that uses the biogas machine as a prime mover and generator. The quantity and biogas elements which the machine used, the electrical power and the power quality were measured and used to determine the systems efficiency. Return on investment for 120 m<sup>3</sup> biogas plant for 6 hours per day electric energy production, with electricity cost of 3.80 Baht per kWh, was 8 years with IRR of 10.91%. This

analysis does not include the cost of the environmental impact on the farm.

### 1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการเลี้ยงสัตว์ เป็นจำนวนมากจากสถิติในปี พ.ศ.2546 พบว่าจำนวนสุกรที่มีอยู่ในพื้นที่ทั้งหมดถึง 7,815,534 ตัว (ที่มา: กรมปศุสัตว์ไทย 2546) การเลี้ยงสัตว์จำนวนมากอาจทำให้เกิดปัญหาหมอกพิษที่มีผลต่อสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะมลภาวะเรื่องกลิ่น น้ำเสียและสิ่งปฏิกูล ที่เกิดจากมูลสัตว์และของเสียต่างๆ จากระบบฟาร์ม หากไม่มีการกำจัดของเสียที่ถูกต้อง จะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมขึ้นได้ การสร้างบ่อก๊าซชีวภาพสามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และยังเป็นแหล่งพลังงานทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาแพงอีกด้วย ปัจจุบันวิกฤติการณ์ด้านพลังงานเป็นปัญหาใหญ่สำหรับประเทศไทย ราคาน้ำมันที่สูงขึ้นกดดันให้ราคาไฟฟ้า สาธารณูปโภคต่างๆ และราคาสินค้าสูงขึ้นตามไปด้วย ปริมาณการบริโภคน้ำมันเบนซินระหว่างปี 2540-2544 เป็นจำนวน 20 ล้านลิตรต่อวัน และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นประมาณ 4.3% ต่อปี (ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2546) ซึ่งจะทำให้การบริโภคเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 30 ล้านลิตรต่อวันในปี 2554 การใช้พลังงานทดแทนมาช่วยเสริมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการแก้ไขปัญหา ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรเป็นเชื้อเพลิงอีกประเภทหนึ่งที่เป็นผลผลิตที่ได้มาจากของเสียจากระบบฟาร์ม ปัจจุบันฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ในประเทศไทยมีจำนวนมากกว่า 2,000 ราย ก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในฟาร์ม เช่น ใช้ในกระบวนการให้ความร้อนต่างๆ ใช้ให้ความอบอุ่นลูกสุกร และสามารถใช้ทดแทนน้ำมันในการผลิตไฟฟ้าได้ด้วย ดังนั้นผลประโยชน์ที่ฟาร์มสุกรจะได้รับหากมีการใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร คือ

#### 1. ผลประโยชน์เชิงเศรษฐกิจ

- ลดการใช้เชื้อเพลิงและพลังงานต่างๆ ลง
- เพิ่มรายได้ให้กับเจ้าของฟาร์มเนื่องจากสามารถลดต้นทุนการผลิตได้

2. ผลประโยชน์เชิงพลังงานและสิ่งแวดล้อม

- ช่วยบำบัดน้ำเสียให้กับฟาร์มเกษตรกร
- ลดการปล่อยมีเทนซึ่งถือเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญชนิดหนึ่ง

2. ระบบที่ทำการศึกษ

2.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

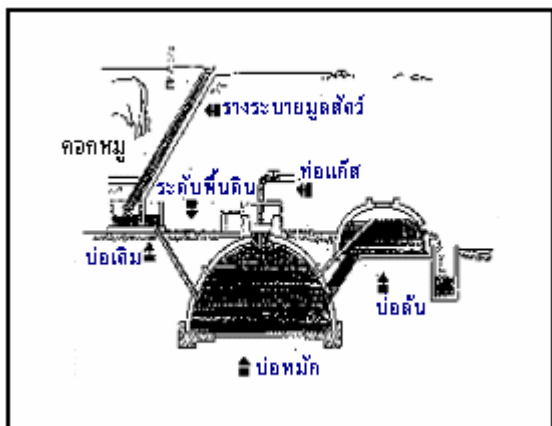
ก๊าซชีวภาพคือ ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักของมูลสัตว์ อาทิ เช่น โค, สุกร, เป็ด, ไก่ หรือสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในสภาพไร้อากาศทำให้เกิดเป็นก๊าซ ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) 50-60% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) 25-35% ก๊าซไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) 2-7% ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) 1-5% และก๊าซอื่นๆ เล็กน้อย [1] โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จะมีก๊าซมีเทนเป็นตัวประกอบหลัก ซึ่งมีคุณสมบัติ สามารถติดไฟได้ ก๊าซชีวภาพปริมาตร 1 m<sup>3</sup> จะให้พลังงานความร้อน 21.5 MJ หรือเท่ากับก๊าซ LPG 0.46 kg หรือพลังงานไฟฟ้า 1.2 kWh หรือถ่าน 1.6 kg) [ที่มา: กองทุนส่งเสริมอนุรักษ์พลังงาน 2538] ตามแผนผังระบบผลิตก๊าซชีวภาพ รูปที่ 1 มูลสัตว์ และน้ำล้างคอกตลอดจนสิ่งสกปรกจะไหลลงรางระบายมูลสัตว์เข้าสู่บ่อเติมและไหลลงสู่อบหมักเพื่อหมักให้เกิดก๊าซต่อไป บ่อก๊าซชีวภาพที่ศึกษาเป็นของบริษัทสามพรานฟาร์ม จำกัด มีขนาด 120 m<sup>3</sup> ดังรูปที่ 2 เป็นบ่อหมักแบบไร้อากาศนำโดยใช้น้ำอย่างคลุ้ม และใช้รางส่งมูลสุกรเข้าสู่บ่อหมัก ใช้ท่อ PVC เป็นท่อส่งก๊าซ เพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ต้นกำลัง ซึ่งใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

2.2 ระบบผลิตไฟฟ้า

2.2.1 เครื่องยนต์ต้นกำลัง

เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นตัวต้นกำลังสำหรับหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ ยี่ห้อนิสสัน รุ่น NA20 ซึ่งมีรายละเอียดพื้นฐานดังนี้

- ความจุกระบอกสูบ 2000 ซีซี
- 70 แรงม้า



รูปที่ 1 แผนผังระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 2 บ่อก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร

2.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction machines) หรือที่เรียกกันอีกอย่างว่า เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous machines) ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมและในเครื่องจักรต่างๆ โดยใช้ทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ ซึ่งทราบกันมานานแล้วว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นสามารถทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ปัจจุบันเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบพื้นฐานที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับติดตั้งกับกังหันลม และยังสามารถใช้กับระบบอื่นๆ เช่น พลังงานน้ำ หรือเครื่องยนต์ก็ได้ สาเหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบพลังงานทดแทนเพราะ

- ใช้งานง่ายและมีโครงสร้างที่แข็งแรงทนทาน
- มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอื่น
- สามารถต่อเข้ากับระบบหรือปลดออกจากระบบไฟฟ้าได้ง่าย
- มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ใช้มอเตอร์ยี่ห้อ ABB รุ่น M2QA180L4A ซึ่งมีรายละเอียดพื้นฐานดังนี้
- ขนาด 22 กิโลวัตต์ 4 ขั้วแม่เหล็ก
- ความเร็วรอบ เท่ากับ 1465 รอบต่อนาที
- เพาเวอร์แฟคเตอร์ (cos θ) เท่ากับ 0.9
- ต่อแบบวาย (Y)

2.2.3 การติดตั้งใช้งานระบบ

เมื่อเริ่มใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้น เราสามารถต่อเครื่องเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อทำงานเป็นมอเตอร์ก่อน แล้วเร่งความเร็วของเครื่องยนต์ต้นกำลังขึ้นให้โรเตอร์ของมอเตอร์หมุนที่ความเร็วสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส ( $n > n_s$ ) มอเตอร์จะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขณะที่ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องจะส่งกำลังไฟฟ้าจริง (P) เข้าสู่ระบบแต่จะรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) จากระบบเข้ามาเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นการใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ก็ต่อเมื่อต่ออยู่กับระบบไฟฟ้ากำลังเท่านั้น ในช่วงที่เครื่องทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าป้อนกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลัง แรงบิดจะมีทิศ

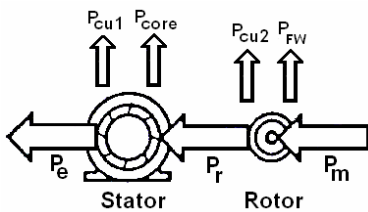
ทางตรงข้ามกับกรณีที่ใช้งานเป็นมอเตอร์ ดังนั้นแรงบิดในช่วงนี้จะมีค่าเป็นลบ สมการกำลัง คือ

$$P_r = \frac{P_m - P_{FW}}{1 - s} \quad (1)$$

$$P_{cu2} = P_m - P_{FW} - P_r \quad (2)$$

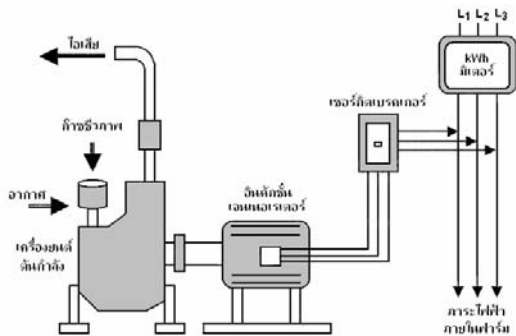
$$P_e = P_r - P_{cu1} - P_{core} \quad (3)$$

โดยที่  $P_m$  คือกำลังทางกลที่โรเตอร์รับเข้ามา  $P_r$  คือกำลังที่โรเตอร์ส่งให้สเตเตอร์  $P_e$  คือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออก  $P_{cu1}$  คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงของสเตเตอร์  $P_{cu2}$  คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงของโรเตอร์  $P_{core}$  คือกำลังสูญเสียในแกนเหล็ก  $P_{FW}$  คือกำลังสูญเสียจากแรงเสียดทานและลม



รูปที่ 3 แผนภาพการส่งกำลังเมื่อใช้งานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากการทดลองเมื่อปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์โดยการปรับปริมาณของก๊าซชีวภาพที่จ่ายให้กับเครื่อง ความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เจนเนอเรเตอร์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดคือประมาณ 1,520 รอบต่อนาที



รูปที่ 4 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพกับระบบไฟฟ้า

### 3. การวัดขนาดและปริมาณต่าง ๆ

#### 3.1 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่วัดได้มีส่วนผสมของก๊าซต่างๆ แบ่งเป็นร้อยละดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ร้อยละของส่วนผสมของก๊าซชีวภาพที่วัดได้

ชนิดก๊าซ	ปริมาณก๊าซ (%)
มีเทน	71.8
คาร์บอนไดออกไซด์	24.4
ออกซิเจน	0.27
อื่นๆ	3.47



รูปที่ 5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องยนต์ต้นกำลัง

#### 3.2 การวัดขนาดทางไฟฟ้าและคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

เครื่องวัดไฟฟ้าที่ใช้เก็บผลการทดลอง คือ FLUKE 43B Power Quality Analyzer วัดค่าแรงดันและกระแสขณะเครื่องทำงานเป็นมอเตอร์ได้ดังตารางที่ 2 และขณะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 3

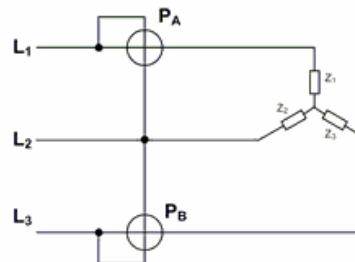
ตารางที่ 2 แรงดันและกระแสขณะเครื่องทำงานเป็นมอเตอร์

แรงดัน (V)		กระแส (A)	
V <sub>12</sub>	375.5	I <sub>1</sub>	18.26
V <sub>23</sub>	378.2	I <sub>2</sub>	12.16
V <sub>31</sub>	383.0	I <sub>3</sub>	15.92

ตารางที่ 3 แรงดันและกระแสขณะเครื่องทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

แรงดัน (V)		กระแส (A)	
V <sub>12</sub>	397.7	I <sub>1</sub>	28.02
V <sub>23</sub>	400.4	I <sub>2</sub>	30.98
V <sub>31</sub>	405.8	I <sub>3</sub>	33.14

ค่าแรงดันและกระแสที่วัดได้ในแต่ละเฟสนั้นไม่เท่ากัน ระบบนี้จึงเป็นแบบ 3 เฟสไม่สมดุล เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้าเป็นแบบ 1 เฟส จึงต้องใช้วิธีการวัดแบบ Two-Watt Method วัดกำลังไฟฟ้า [1] โดยวงจรที่ทำการวัดแสดงดังรูปที่ 6



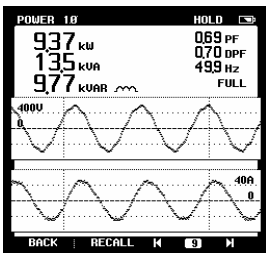
รูปที่ 6 การวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟสแบบ Two-Watt Method

จากรูปที่ 6 เราใช้เครื่องวัด PA และ PB วัดค่ากำลังไฟฟ้า สมการ  
พิสูจน์กำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องวัดทั้ง 2 เครื่องคือ

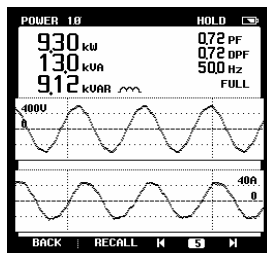
$$P_A + P_B = \frac{1}{T} \int_0^T i_{L1} \cdot v_{13} dt + \frac{1}{T} \int_0^T i_{L2} \cdot v_{23} dt \quad (4)$$

$$P_A + P_B = P_1 + P_2 + P_3 \quad (5)$$

จากสมการแสดงว่าการใช้วัดที่มีเตอร์ 2 ตัว สามารถวัด  
กำลังไฟฟ้าของระบบ 3 เฟสได้ แต่สาย N จะต้องไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล  
หรือไม่ต่ออยู่กับภาระทางไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่เครื่องวัด PA วัดได้คือ  
9.37 กิโลวัตต์ และที่ PB วัดได้คือ 9.30 กิโลวัตต์ เพราะฉะนั้น  
กำลังไฟฟ้ายรวมที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้คือ 9.37+9.30 = 18.67  
กิโลวัตต์



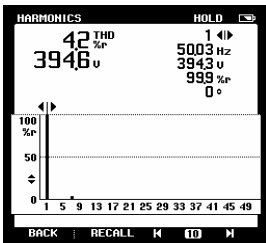
(ก)



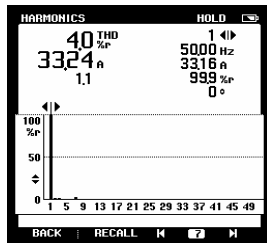
(ข)

รูปที่ 7 (ก) กำลังไฟฟ้าที่เครื่องวัด PA

(ข) กำลังไฟฟ้าที่เครื่องวัด PB



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 (ก) THD ของแรงดัน (ข) THD ของกระแส

ตามคำแนะนำของ IEEE เรื่อง Harmonic Control in Electrical  
Power System Std. 519-1992 ปริมาณฮาร์โมนิรวมทั้งหมดที่คิด  
เป็นร้อยละ (Total Harmonic Distortion; THD) ในโรงงานอุตสาหกรรม  
ต้องไม่เกิน 5 % ดังนั้นค่า THD ที่วัดได้ทั้งของแรงดันและของกระแสจึง  
อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

#### 4. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ

เมื่อเดินเครื่องวัดต้นกำลังโดยยังไม่ต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ก๊าซ  
ชีวภาพที่ไหลเข้าเครื่องยนต์มีความเร็ว 0.9 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ  
38.0 °C เมื่อเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ ทำการวัดปริมาณ  
ของก๊าซชีวภาพที่เครื่องใช้ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความเร็วและอุณหภูมิของก๊าซชีวภาพที่ไหลเข้าเครื่อง- ยนต์  
ต้นกำลัง

วัดครั้งที่	เมตรวินาที	อุณหภูมิ (°C)
1	1.8	38.5
2	1.8	38.3
3	1.7	38.6
ค่าเฉลี่ย	1.76	38.47

ท่อที่ใช้ส่งก๊าซให้กับเครื่องยนต์ต้นกำลังมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว  
หรือเท่ากับ 0.0508 เมตร พื้นที่หน้าตัดของท่อจึงเท่ากับ

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times 0.0508^2}{4} = 0.002 \text{ m}^2$$

ปริมาตรของก๊าซที่ไหลในท่อ ( $Q_{gas}$ ) เท่ากับพื้นที่หน้าตัดของท่อคูณ  
ความเร็วของก๊าซ จากตารางที่ 4 ความเร็วของก๊าซที่วัดได้เฉลี่ยเท่ากับ  
1.76 เมตร/วินาที ดังนั้นปริมาตรของก๊าซเครื่องยนต์ใช้เท่ากับ

$$\begin{aligned} Q_{gas} &= A \cdot V \\ &= 0.002 \times 1.76 \\ &= 0.00352 \text{ m}^3 / \text{sec} \end{aligned}$$

ก๊าซชีวภาพขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร ให้พลังงานความร้อนเท่ากับ  
21.5 เมกกะจูล (ที่มาจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน;  
[www.eppo.go.th](http://www.eppo.go.th)) ดังนั้นพลังงานจากก๊าซชีวภาพที่เครื่องยนต์ต้นกำลัง  
ใช้ ( $P_{in}$ ) คือ

$$\begin{aligned} P_{in} &= 21.5 \times 0.00352 \\ &= 0.07568 \text{ MJ/sec} \\ &= 75.68 \text{ kJ/sec} \\ &= 75.68 \text{ kW} \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพรวมของระบบคิดโดยประมาณ เท่ากับพลังงานไฟฟ้า  
ที่ผลิตได้ ( $P_{out}$ ) ต่อพลังงานจากก๊าซชีวภาพที่เครื่องยนต์ต้นกำลังใช้

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \\ &= \frac{18.67 \text{ kW}}{75.68 \text{ kW}} \times 100 \\ &= 24.67 \% \end{aligned}$$

#### 5. การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นเพื่อวัดคุณค่าการลงทุนใน  
บทความนี้เลือกใช้วิธีอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return  
method) และวิธีระยะเวลาคืนทุน (Payback period method) ซึ่ง  
รายละเอียดแต่ละรายการมีดังนี้

##### ก. เงินลงทุน

- ต้นทุนสร้างบ่อก๊าซชีวภาพขนาด 120  $\text{m}^3$  = 200,000 บาท
- ต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้า = 120,000 บาท

**ข. รายรับต่อปี (cash inflow)**

- ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี = 147,744 บาท  
(ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 3.80 บาท/kWh และกำลังผลิตสูงสุดประมาณ 18 kW เดินเครื่อง 6 ชม./วัน = 18 x 6 x 360 x 3.80)
- ค่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ขายได้ ปีละ = 18,000 บาท  
(ปุ๋ยอินทรีย์ราคา 1.50 บาท/กิโลกรัม ขายได้ 1,000 Kg/เดือน = 1,000 x 1.50 x 12)

**ค. รายจ่ายต่อปี (cash outflow)**

- ค่าบำรุงรักษาบ่อก๊าซรายปี = 2,000 บาท
- ค่าเปลี่ยนพลาสติกคลุมบ่อ 19,000 บาท/ครั้งทุก 5 ปี โดยเปลี่ยนปีที่ 5 และปีที่ 10 รวม 2 ครั้ง คิดเป็นเงิน 38,000 บาท ตลอดโครงการคิดเฉลี่ยปีละ = 2,533 บาท
- ค่าเปลี่ยนถ่านน้ำมันเครื่องครั้งละ 4 ลิตรๆ 125 บาท ทุกๆ 100 ชม.ทำงาน คิดเป็นปีละ 21.6 ครั้ง = 10,800 บาท
- ค่าเปลี่ยนกรองน้ำมันเครื่อง 200 บาท ทุกๆ 200 ชม.ทำงาน คิดเป็นปีละ 10.8 ครั้ง = 2,160 บาท
- ค่าเปลี่ยนระบบผลิตไฟฟ้า 120,000 บาท/ครั้งทุก 3 ปี โดยเปลี่ยนปีที่ 3, 6, 9 และ 12 รวม 4 ครั้ง ตลอดโครงการคิดเฉลี่ยปีละ = 32,000 บาท
- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการปีละ = 72,000 บาท

**ง. สรุปรายรับรายจ่ายจากการติดตั้งระบบก๊าซชีวภาพ**

- ค่าประกอบการคำนวณ  
วันทำงานต่อปี = 360 วัน (2 เดือนหยุดตรวจสอบ 1 ครั้ง) อายุโครงการ 15 ปี มูลค่าซาก 2,000 บาท
- เงินลงทุนทั้งหมด = ราคากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ + ราคากระบบผลิตไฟฟ้า  
= 200,000+120,000  
= 320,000 บาท
- รายรับต่อปี = ค่าไฟฟ้าที่ประหยัด + ปุ๋ยอินทรีย์ที่ขาย  
= 147,744+18,000  
= 165,744 บาท
- รายจ่ายต่อปี = ค่าบำรุงรักษาบ่อก๊าซ + ค่าเปลี่ยนพลาสติก + ค่าเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง + ค่าเปลี่ยนไส้กรอง + ค่าเปลี่ยนระบบผลิตไฟฟ้า + ค่าดำเนินการ  
= 2,000 + 2,533 + 10,800 + 2,160 + 32,000 + 72,000  
= 121,493 บาท

**จ. การคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) [4], [5]**

อัตราผลตอบแทนภายในเป็นวิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป การนำวิธีนี้มาใช้ต้องมีทั้งการไหลของเงินรับและการไหลของเงินจ่าย อัตรา

ผลตอบแทนภายในเป็นอัตราผลตอบแทนที่ทำให้ค่าเทียบเท่าของรายรับสุทธิกับรายจ่ายสุทธิ ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่งมีค่าเท่ากันนั่นคือ

$$PW = \sum_{t=0}^n F_t(1+i)^t \quad (6)$$

โดยที่  $PW$  คือมูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน  $t$  คือคาบระยะเวลา  $F_t$  คือมูลค่าเงินสุทธิในช่วงเวลา  $t$  และ  $i$  คือ อัตราผลตอบแทนภายในมูลค่าปัจจุบัน ( $P$ ) ที่ทำให้สมการ (6) อาจใช้สัญลักษณ์เป็น  $NPW$  (Net present worth) แทนก็ได้ นั่นคือ อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จะเป็นค่าของอัตราดอกเบี้ยที่ทำให้

$$NPW = 0 \quad (7)$$

จากสมการที่ 6 และ 7 สามารถเขียนค่าปัจจุบันของการไหลของเงินสุทธิได้ดังนี้

$$-320,000 + (165,744 - 121,493)(P/A, i, 15) + 2,000(P/F, i, 15) = 0$$

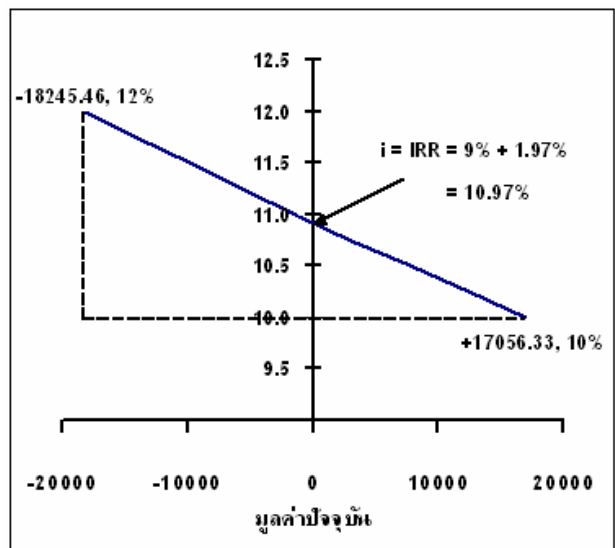
ที่  $i = 10\%$

$$-320,000 + 4,4251(7.6061) + 2,000(0.2394) = +17,056.33$$

ที่  $i = 12\%$

$$-320,000 + 4,4251(6.8109) + 2,000(0.1827) = -18,245.46$$

เราสามารถประมาณค่า  $i$  ซึ่งมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPW) เท่ากับศูนย์ได้จากกราฟรูปที่ 9 โดยค่า  $i$  ที่ประมาณได้คือ 10.97%



รูปที่ 9 การประมาณค่าในช่วงหาค่า IRR โดยประมาณ

**ฉ. การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback period method) [4]**

วิธีระยะเวลาคืนทุน เป็นการหาระยะเวลาที่ให้ผลประโยชน์ที่ได้คุ้มกับเงินลงทุน โดยคิดอัตราผลตอบแทนเป็นศูนย์ สามารถหาได้จากสมการ

$$\sum_{t=1}^m R_t \geq C_o \quad (8)$$

โดยที่  $C_o$  คือเงินทุนเริ่มต้นที่เวลาศูนย์  $R_t$  คือรายรับสุทธิในคาบที่  $t$  ของการลงทุน  $m$  คือระยะเวลาคืนทุน

ตารางที่ 5 ข้อมูลรายรับและรายจ่ายของโครงการ

ปีที่	จำนวน(บาท)	หมายเหตุ
0	-320,000	ต้นทุนเริ่มต้นค่าบ่อ+คาร์ระบบไฟฟ้า
1	78784	ประหยัดค่าไฟฟ้า+ค่าขายปุ๋ย
2	78784	ประหยัดค่าไฟฟ้า+ค่าขายปุ๋ย
3	-41216	หักค่าระบบไฟฟ้า 120,000
4	78784	ประหยัดค่าไฟฟ้า+ค่าขายปุ๋ย
5	59784	หักค่าเปลี่ยนพลาสติก 19,000
6	-41216	หักค่าระบบไฟฟ้า 120,000
7	78784	ประหยัดค่าไฟฟ้า+ค่าขายปุ๋ย
*8	78784	ประหยัดค่าไฟฟ้า+ค่าขายปุ๋ย
9	-41216	หักค่าระบบไฟฟ้า 120,000
10	59784	หักค่าเปลี่ยนพลาสติก 19,000
11	78784	ประหยัดค่าไฟฟ้า+ค่าขายปุ๋ย
12	-41216	หักค่าระบบไฟฟ้า 120,000
13	78784	ประหยัดค่าไฟฟ้า+ค่าขายปุ๋ย
14	78784	ประหยัดค่าไฟฟ้า+ค่าขายปุ๋ย
15	78784	ประหยัดค่าไฟฟ้า+ค่าขายปุ๋ย
(- จ่ายเงิน) (+ รับเงิน)		

จากตารางที่ 5 พิจารณาระยะเวลา 8 ปี

$$\sum_{t=1}^8 R_t = 78,784 + 78,784 - 41,216 + 78,784 + 59,784 - 41,216 + 78,784 + 78,784 = 371,272 > C_0$$

ที่ระยะเวลา 8 ปีรายรับจะมากกว่ารายจ่ายและเงินลงทุน ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนจึงเท่ากับ 8 ปี

## 6. สรุป

การคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร ในกรณีของบริษัทสามพรานฟาร์มนั้นเป็นการผลิตใช้งานด้วยระบบขนาดเล็ก ประสิทธิภาพที่คำนวณได้นั้นอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ซึ่งปกติแล้วก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะใช้เดินเครื่องผลิตไฟฟ้าได้ประมาณวันละ 6-8 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดของสุกร ปริมาณของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นคิดจากการประมาณว่าระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 18 กิโลวัตต์ คงที่ตลอดการทำงาน และเดินเครื่องผลิตไฟฟ้า 6 ชม./วัน ซึ่งบ่อก๊าซชีวภาพที่ใช้มีขนาด 120 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 120 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีต้นทุนในการสร้างบ่อก๊าซประมาณ 200,000 บาท และต้นทุนของเครื่องยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประมาณ 120,000 บาท โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ประมาณ 8 ปี IRR = 10.97% พิจารณาจากต้นทุนแล้วมีความเป็นไปได้ที่ฟาร์มสุกรขนาดกลางจะนำระบบพลังงานทดแทนนี้มาใช้เนื่องจากมีการลงทุนที่ไม่สูงมากนัก และนอกจากจะผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งานในฟาร์ม

ได้แล้วยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย ลดมลภาวะที่จะเกิดขึ้นจากการทิ้งน้ำเสียและของเสียจากฟาร์ม และมีผลพลอยได้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่สามารถสร้างรายได้ให้เกษตรกรอีกทางหนึ่งด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทสามพรานฟาร์ม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนในเรื่องของสถานที่ในการเก็บข้อมูลและการอำนวยความสะดวกต่างๆ จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วิบูล เขมรังษณภูมิ, 2528, ทฤษฎีเครื่องวัดไฟฟ้าการวัดขนาดทางไฟฟ้า, โรงพิมพ์เจริญธรรม, กรุงเทพฯ
- [2] นพพร ชูศักดิ์พาณิชย์, บรรจง จันทนะเปลิณ และเศกสรรค์, ชุมอักษร, 2534, การใช้ก๊าซชีวภาพเดินเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า, ปรินท์ยานิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [3] ปรีชา ศิริชาญ, 2544, การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพวิทยานิพนธ์, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [4] พัชรภรณ์ เนียมมณี, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, บริษัทสำนักพิมพ์เอมพันธ์ จำกัด, กรุงเทพฯ
- [5] ชุมพล ศฤงคารศิริ, 2546, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ
- [6] Fry, L. John, 1993 Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer, Privately published.