การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย

The Study of Appropriate Technology for Biogas Production from Food Waste Among Universities

กฤตภาส สิงคิบุตร[1],วิชชากร จารุศิริ[2], และ ปฐมทัศน์ จิระเดชะ[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารที่มีความแตกต่างกันของกรณีตัวอย่าง คือ ระบบ CSTR แบบแห้ง ระบบ CSTR แบบ1--ขั้นตอน และ ระบบ CSTR แบบ AMR ซึ่งทั้ง 3 ระบบมีขนาดการรองรับเศษอาหารใกล้เคียงกันคือประมาณ 200 กิโลกรัมเศษอาหารต่อวัน โดยศึกษาเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินและการลงทุน การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน มีเกณฑ์การตัดสินใจลงทุน คือ อัตราผลตอบแทน ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา ค่าเสียโอกาสที่ดิน โดยผลประโยชน์ประกอบด้วย ก๊าซชีวภาพ ปุ๋ย ลดกลิ่น อีกทั้งเป็นการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมพร้อมยังเป็นการช่วยบรรเทาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลการศึกษาพบว่าระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในขนาด 200 กิโลกรัมเศษอาหารต่อวัน เดินระบบ 365 วัน/ปี อายุของโครงการ 15 ปี ให้แก๊สชีวภาพโดยเฉลี่ย 4,147 กิโลกรัม(แก๊ส)/ปี เทคโนโลยีที่ให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุดคือ เทคโนโลยี CSTR 1-Stage อัตราผลตอบแทน IRR เท่ากับ 47.10% และระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 2.12 ปี

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ ขยะเศษอาหาร การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

Abstract

This research is the Study of Appropriate Technology of Biogas Production from Food Waste in Different Case Studies. The three different case studies are 1) CSTR Wet system 2) CSTR 1-Stage 3) CSTR AMR system. The full capacity of all systems are 200 kilograms of food waste per day. This research studied appropriate technology and worthiness of Biogas Production from Food Waste to analyze financial feasibility and investment, cost-benefit analysis and investment decision criteria such as rate of return, cost of investment, cost of operation and maintenance cost, and opportunity cost of land. The benefits are biogas, fertilizer, and reducing odor. Including, saving energy and Environment by reducing of greenhouse Gas. The results for the study is Biogas Production from Food Waste operated at full capacity of 200 kilograms per day operated at 365 day(s) / year(s), project period 15 year(s), produced Biogas in average of 4,147.13 kilogram(s) per year. The best worth technology for economic aspect is CSTR 1-Stage with IRR of 47.10% and SPP of 2.12 years.

Key words: Biogas, Food Waste, Economic Feasibility Analysis

---

[1] *นิสิตมหาบัณฑิต ภาควิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*

[2] *อาจารย์ประจำภาควิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*

[3] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*

1. ความเป็นมา

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต ประชากรมีจำนวนมากขึ้นความต้องการพลังงานก็เพิ่มขึ้น ภาครัฐได้มีนโยบายในการลดและประหยัดการใช้พลังงานในทุกภาคส่วนซึ่งจะช่วยลดการพึ่งพาด้านพลังงานจากต่างประเทศและสนับสนุนการผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ไบโอดีเซล แก๊สโซฮอล์ และก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพนี้สามารถผลิตได้จากของเสียที่เป็นอินทรีย์สารต่าง ๆ กระทรวงพลังงานได้ให้ความสำคัญและสนับสนุนให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมุ่งเน้นพลังงานทดแทนจากการใช้วัตถุดิบภายในประเทศและสามารถช่วยแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมควบคู่กัน ขยะอินทรีย์หรือขยะมูลฝอยที่สามารถย่อยสลายได้ เช่น ของเสียจากเศษอาหาร เปลือกผลไม้ เศษใบไม้ใบหญ้าจากการตัดแต่งสวนหย่อมมาหมักทำปุ๋ยหรือไบโอแก๊สได้ร้อยละ 45 – 60 สถาบันการศึกษาเป็นอีกหนึ่งสถานที่ ที่มีประชากรเป็นจำนวนมาก โดยเฉลี่ยแล้ว 1 คนรับประทานอาหารในแต่ระครั้งจะมีเศษอาหารเหลือประมาณ 0.1 กิโลกรัมต่อคนต่อครั้ง ซึ่งก่อให้เกิดขยะเศษอาหารที่รอการกำจัด และมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดการและบำบัดอย่างเหมาะสมเนื่องจากของเสียดังกล่าวในปัจจุบันได้ถูกนำไปรวมกับของเสียจากกิจกรรมอื่น ๆ ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นปัญหากลิ่นเหม็น น้ำชะขยะมูลฝอย การแพร่กระจายของเชื้อโรค รวมทั้งการปล่อยก๊าซมีเทนซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อน จึงเกิดแนวคิดการจัดการขยะของเสียที่แหล่งกำเนิดโดยใช้เทคโนโลยีที่ผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร และเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นมี 5 ระบบแต่ในปัจจุบันสถานบันการศึกษาที่นำขยะเศษอาหารมาผลิตก๊าซชีวภาพนั้นมี 3 แห่งและแต่ระแห่งก็มีเทคโนโลยีที่แตกต่าง จึงมีความสนใจที่จะศึกษาเทคโนโลยีทั้ง 3 แห่งในสถานศึกษา ว่าเทคโนโลยีใดที่มีความเหมาะสมมีความคุ้มค่ากับการลงทุน

2. ทฤษฎีเบื้องต้นของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ เป็นสสารที่อยู่ในรูปของก๊าซ เกิดจากการย่อยสลายของซากสิ่งมีชีวิต ทั้งซากพืช ซากสัตว์และของเสียจากสัตว์ รวมถึงขยะมูลฝอยที่เป็นขยะอินทรีย์ โดยกระบวนการย่อยสลายทั้งหมดเกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในสภาวะที่ไร้อากาศก๊าซชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติถ้ามีสภาพที่เหมาะสมหรือเกิดขึ้นในระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่สร้างขึ้น

2.1 องค์ประกอบของการเกิดก๊าซชีวภาพ

1) สารอินทรีย์ – ซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรีย

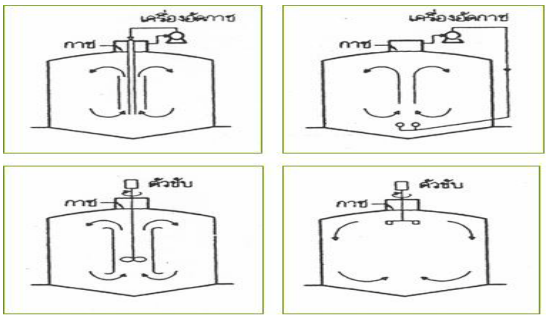
2) แบคทีเรีย – เป็นจุลินทรีย์หรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กประเภทหนึ่ง มีทั้งกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต สำหรับแบคทีเรียที่เราจะกล่าวถึงซึ่งเป็นผู้ผลิตก๊าซชีวภาพนั้นเป็นกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน

3) สิ่งแวดล้อมที่เป็นระบบปิด ไร้อากาศ

4) อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียแต่ละประเภท ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยสารตั้งต้น คือ สารอินทรีย์ที่เป็นซากสิ่งมีชีวิตหรือเป็นส่วนประกอบในน้ำเสียและของเสีย จะถูกแบคทีเรียหลายประเภทร่วมกันทำการย่อยสลาย โดยประมาณร้อยละ 80-90 ของสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายและเปลี่ยนเป็น ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ซึ่งก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) 50-70 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30-50 % ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไอน้ำ เป็นต้น ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อนประมาณ 21 เมกะจูลส์ต่อลูกบาศก์เมตรที่สัดส่วนของก๊าซมีเทน 60 % สารอินทรีย์ + จุลินทรีย์ ------> เซลล์ + Carbondioxide + Methan + Ammonia + Hydrogen Sulfide[1] มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์การทำงานของระบบ ผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสัมผัสกันของสารอาหารในน้ำเสียและจากถังย่อยสลาย โดยมีการติดตั้ง

ใบกวน เช่น แบบสกรู ในการกวนผสม เพื่อให้จุลินทรีย์และ สารอาหารในถังปฏิกรณ์มีการสัมผัสกันมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียดีขึ้นถังปฏิกรณ์ แบบนี้ระยะเวลากักเก็บของแข็ง เท่ากับระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย ทำให้ถังปฏิกรณ์จะมีขนาดใหญ่หากของเสียหรือน้ำเสียที่เป็นวัตถุดิบย่อยสลายได้ยากใช้เวลานาน จึงเหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง มีสารแขวนลอยสูง หรือแม้กระทั่งมีสารพิษปนอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากถังปฏิกรณ์มีการกวนอยู่ตลอดเวลา เมื่อสารพิษถูกป้อนเข้าระบบจะถูกเจือจางทันที จึงไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อจุลินทรีย์เหมือนระบบอื่น แสดงการทำงานของระบบดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์

ผลการทดลอง

ที่มา : [2]เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับน้ำเสียและของเสียอินทรีย์,

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร เช่น เงินลงทุน ค่าเดินระบบ ปริมาณขยะเศษอาหารที่เข้าระบบ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบ เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็น H_2 CO_2 CH_4 และเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เข้า-ออกจากระบบเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า COD pH Total Volatile Solids (VS) Total Solids (TS) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย 3 แห่ง ซึ่งมีเทคโนโลยีดังนี้1. Plug Flow(Dry Fermentation Technology) 2. CSTR/Completely Mixed System 1-Stage Digester 3. CSTR/Completely Mixed System Anaerobic Mixing Reactor(AMR)

3.1 ผลวิเคราะห์

จากการเก็บข้อมูลการใช้งานระบบผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถแยกประเด็นต่างๆ ได้ดังนี้

3.1.1 สัดส่วนการป้อนเศษอาหารเข้าระบบ

จากการเก็บข้อมูลการใช้งานระบบของทั้ง 3 เทคโนโลยี พบว่าสัดส่วนการป้อนเศษอาหารเข้าระบบเทียบกับค่าการออกแบบการรองรับเศษอาหาร มีค่าเฉลี่ยประมาณ 79% ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณการป้อนเศษอาหารรวมทั้ง 3 เทคโนโลยีจะพบว่า มีการป้อนเศษอาหารเข้าระบบรวมประมาณ 609 กก./วัน จากค่าการออกแบบการรองรับปริมาณเศษอาหารรวมเท่ากับ 780 กก./วัน

3.1.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

จากการวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพของทั้ง 3 แห่ง พบว่า ส่วนใหญ่มีการผลิตก๊าซชีวภาพจริงได้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบทั้งสิ้น เนื่องจากการป้อนเศษอาหารยังไม่ได้มีการป้อนสม่ำเสมอตามค่าที่ออกแบบไว้สูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของการผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 19.33 ลบ.ม./วัน ซึ่งเมื่อคิดก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันรวมมีค่าเท่ากับ 58 ลบ.ม.เมื่อมีการเปรียบเทียบก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จริง โดยเทียบที่ปริมาณการป้อนเท่ากันคือ 200 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อแบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้ พบว่า อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของทุกเทคโนโลยีมีค่าที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3 พร้อมทั้งผลวิเคราะห์จากห้องทดสอบพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดค่าต่างๆ และค่าเปรียบเทียบต่างๆนั้นสามารถแบ่งได้ตามเทคโนโลยีทั้ง 3 เทคโนโลยี ดังแสดงในตารางที่ 1,2

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดค่าต่าง ๆ ตามเทคโนโลยี

เทคโนโลยี	TS	VS	COD	TS	Vs	COD	TS	VS	%COD
	เข้าระบบ			ออกระบบ			Remvoal		
Plug Flow	28.73	25.97	375,740	6.53	3.10	89,310	77.3	88.1	76.2
CSTR/ 1-Stage	28.90	26.81	250,000	2.72	2.14	26,700	90.6	92.9	89.3
CSTR/AMR	2.53	2.22	130,700	0.68	0.30	5,210	73.2	94.7	96.0

ตารางที่ 2 ข้อมูลเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ตามเทคโนโลยี

เทคโนโลยี	pH – เข้า	pH - ออก	CH_4	CO_2	H_2	Nm^3 / kg COD
Plug Flow	5.2	7.2	49.5	40.9	9.6	0.40
CSTR/ 1-Stage	3.3	6.1	62.2	26.3	11.5	0.28
CSTR/AMR	5.1	7.2	63.6	26	10.4	0.36

3.2 การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากเทคโนโลยี 3 แบบที่ทำการศึกษา คำนวณได้จากสมการที่1 และนำมาคำนวณปริมาณเทียบเท่าก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยพิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากเทคโนโลยีทั้ง 3 แห่ง ที่มีปริมาณ COD ที่ป้อนเข้าระบบ ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD(%COD Removal) และปริมาณก๊าซชีวภาพต่อ COD Removal(Nm^3/kg COD Removal) ดังรายละเอียดตามตารางที่ 1 จากนั้น นำปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้คำนวณปริมาณเทียบเท่าเป็นก๊าซ LPG โดยก๊าซชีภาพปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรจะใช้พลังงานความร้อน 21 MJ หรือเท่ากับก๊าซ LPG 0.46 kg

โดยกำหนดให้

$BG_i = 0.25 \times F_i \times$ %COD Removal x (Nm^3 / kg COD Removal (1)

BG_i = ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

F_i = ปริมาณขยะเศษอาหาร

3.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มีปัจจัยด้านผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้จาก 3 เทคโนโลยี ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพและต้นทุนของ LPG สรุปเป็นความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 2 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมของโรงผลิตก๊าซชีวภาพเป็นตามสมการที่ 2

$$Max(\sum_{i=1}^{N}(B_t - C_t) \quad (2)$$

กำหนดให้ B_t = มูลค่ารายได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

C_t = ต้นทุนในการผลิตก๊าซชีวภาพ

3.4 การหาปริมาณปุ๋ยจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ปริมาณปุ๋ยที่ผลิตได้ในแต่ละเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ ราคาผลตอบแทนปุ๋ยที่ใช้ในการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ดังสมการที่ 3

$$FC_t = Fi \times \%\ TS \times 5 \quad (3)$$

โดยกำหนดให้ FC_t = มูลค่าจากการขายปุ๋ย

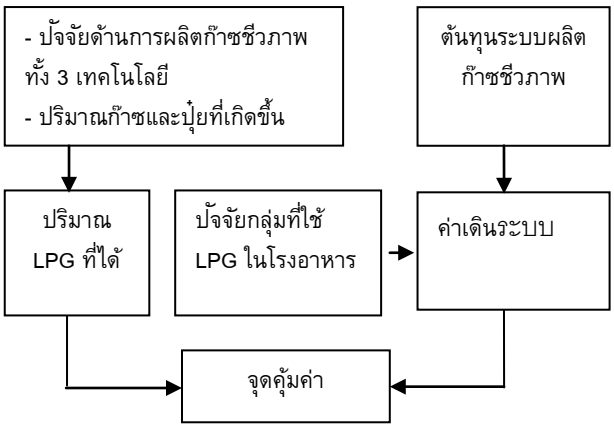
F_i = ปริมาณขยะเศษอาหาร

TS = ประสิทธิภาพการกำจัด TS removal

การคำนวณความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ผลตอบแทนที่ได้รับต้องมีผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้แยกตามเทคโนโลยีการ

ผลิตทั้ง 3 เทคโนโลยี คือ Plug Flow, CSTR1-Stage และCSTR-AMR ในปริมาณขยะเศษอาหาร 200 กิโลกรัม/วันเท่ากัน คำนวณจาก kg-COD ที่ป้อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพคูณกับค่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD แยกตามเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ 3 เทคโนโลยี ดังตารางที่ 3

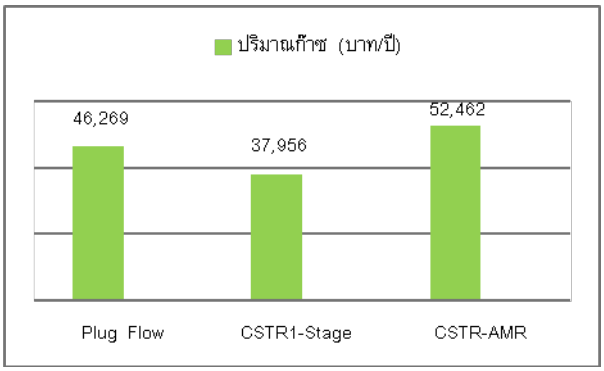
3.5 ผลการทดลอง



รูปที่ 2 ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ตารางที่ 3 ปริมาณการป้อน kg COD LOAD/วัน และ ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยี	ปริมาณขยะเศษอาหาร	Kg-COD load	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ การเกิดก๊าซ Nm^3 / kg COD Removal
	(kg/วัน)	Kg-COD/Day	remove kg-COD	
	Fi	Fi x 0.25	Kg-COD/Day x %COD	
Plug Flow	200	50	3,810	1,524
CSTR1-Stage	200	50	4,465	1,250
CSTR-AMR	200	50	4,800	1,725

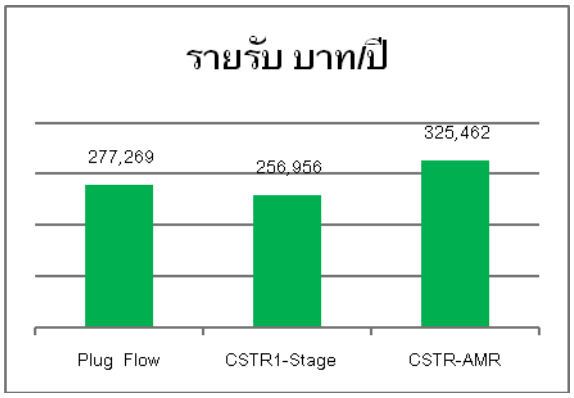
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้แยกตามเทคโนโลยีการผลิตทั้ง 3 เทคโนโลยี โดยการคำนวณอัตราการเกิดก๊าซต่อการกำจัดค่า COD จากการทำงานของระบบ 300 วันต่อปีเท่ากันทุกระบบที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดจาก 3 เทคโนโลยีคือระบบ CSTR-AMR ดังแสดงในรูปที่ 3 ปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบเท่าปริมาณก๊าซ LPG จากการคำนวณก๊าซชีวภาพคูณด้วย 0.46



รูปที่ 3 ปริมาณก๊าซเทียบเท่าก๊าซ LPG

ตารางที่ 4 รายรับรวมและรายจ่ายรวมของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยี	ปริมาณก๊าซเทียบกับ LPG	ปริมาณปุ๋ย	ค่าเดินระบบ
	22 บาท/กิโลกรัม	5 บาท/ลิตร	
	บาท/ปี	บาท/ปี	บาท/ปี
Plug Flow	5,629,351.20	281,050	1,000.00
CSTR1-Stage	4,617,988.76	266,450	30,000.00
CSTR-AMR	6,382,886.40	332,150	11,000.00



รูปที่ 4 รายรับรวมจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพแยกตามเทคโนโลยี

รูปที่ 4 แสดงรายรับรวมจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ผลคำนวณจากการใช้ก๊าซชีวภาพเทียบเท่า LPG กิโลกรัมละ 22 บาท และปริมาณปุ๋ยที่ได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพกิโลกรัมละ 5 บาท เทคโนโลยี ดังแสดงในตารางที่ 4

จากการเปรียบเทียบจำนวนเงินลงทุนก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารโดยได้แบ่งกลุ่มหลัก ๆ ออกเป็น 3 กลุ่ม เทคโนโลยีที่มีต้นทุนในการก่อสร้างน้อยที่สุดคือเทคโนโลยี Plug Flow ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบเงินลงทุน

ระบบต่าง ๆ	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
1. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (บาท)	680,000	556,532	637,740
2. ระบบนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	20,000	94,390	52,600
3. ค่าติดตั้งระบบ (บาท)	150,000	150,000	250,000
รวม	800,000	800,922	940,340

ตารางที่ 6 อัตราการคิดลดร้อยละ 6

รายการ	**อัตราคิดลด ร้อยละ 6**			
	NPV (บาท)	PB(ปี)	B/C ratio	IRR(%)
Plug Flow	1,883,193.32	2.90	3.33	34.11
CSTR1-Stage	1,403,331.18	3.53	2.28	27.61
CSTR-AMR	2,113,793.34	2.99	3.02	32.98

ผลการคำนวณของเทคโนโลยีทั้ง 3 เทคโนโลยี พบว่ากรณีต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 6 โดยผลประโยชน์คงที่สามารถสรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 6

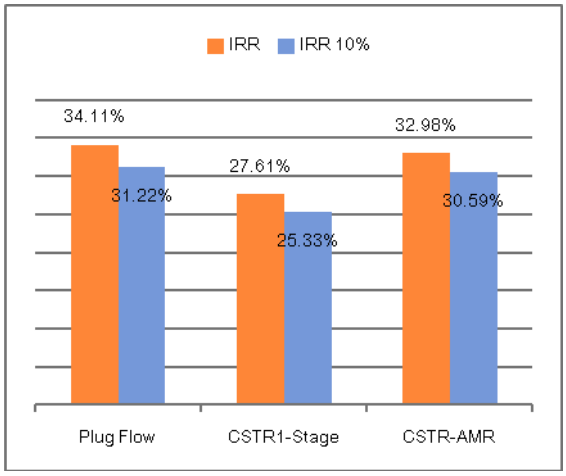
กรณีค่าอ่อนไหวร้อยละ 10 ต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 6 ให้ผลประโยชน์คงที่ก็สามารถสรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 7

จากปริมาณก๊าซที่สามารถผลิตได้คิดรวมเป็นรายรับกับปริมาณปุ๋ยหมักที่ออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพและรายจ่ายคำนวณจากค่าใช้จ่ายในการเดินระบบนำมาคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าระบบที่มีความคุ้มค่ามากที่สุดคือเทคโนโลยี Plug Flow แสดงในกราฟรูปที่ 6 โดยพิจารณาที่อัตราดอกเบี้ย 6% ในอายุโครงการ 15 ปี

ตารางที่ 7 อัตราการคิดลดร้อยละ 6 ค่าอ่อนไหว 10%

รายการ	อัตราคิดลด ร้อยละ 6			
	ค่าอ่อนไหว 10%			
	NPV (บาท)	PB(ปี)	B/C ratio	IRR(%)
Plug Flow	1,813,193.32	3.15	3.06	31.22
CSTR1-Stage	1,338,539.18	3.81	2.16	25.33
CSTR-AMR	2,044,759.24	3.21	2.83	30.59



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบค่า IRR ในอัตราดอกเบี้ย 6%

4. สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารทั้ง 3 เทคโนโลยี คือ เทคโนโลยี Plug Flow เทคโนโลยี CSTR1-Stage และเทคโนโลยี CSTR-AMR ป้อนขยะเศษอาหารในปริมาณ 200 กิโลกรัม/วัน และเดินเครื่อง 300 วัน/ปี สามารถสรุปได้ดังนี้

เทคโนโลยีที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR-AMR รองลงมาคือ เทคโนโลยี Plug Flow และเทคโนโลยีที่ให้ปริมาณก๊าซน้อยที่สุดคือ เทคโนโลยีระบบ CSTR 1-Stage

เทคโนโลยีที่ให้ปริมาณปุ๋ยมากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR-AMR รองลงมาคือ เทคโนโลยี Plug Flow และเทคโนโลยีที่ให้ปริมาณก๊าซน้อยที่สุดคือ เทคโนโลยีระบบ CSTR 1-Stage

เทคโนโลยีที่ให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์คือ เทคโนโลยี Plug Flow อัตราผลตอบแทน IRR เท่ากับ 34.11% รองลงมาคือ เทคโนโลยี CSTR - AMR อัตราผลตอบแทนสูงสุด IRR เท่ากับ 32.98 % และเทคโนโลยีระบบ CSTR 1-Stage อัตราผลตอบแทน IRR เท่ากับ 27.61% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาระยะเวลาคืนทุนพบว่าเทคโนโลยี Plug Flow คืนทุนใน 3.15 ปี เทคโนโลยี CSTR - AMR มีระยะเวลาคืนทุน 3.21 ปี และเทคโนโลยีระบบ CSTR1-Stage คืนทุน 3.81 ปี

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความสนับสนุนข้อมูลการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ที่ดูแลเทคโนโลยีทั้ง 3 แห่ง

บรรณานุกรม

[1] มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2553: ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไร้อากาศ สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2553, จาก http://www.efe.or.th/home.php?ds=content&mid=cMS7s93gtBdrFxPI&docmenu=db6kCTs

[2] เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. (2549) สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.