การศึกษาและออกแบบ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า ขนาด 1 MW และวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของระบบผลิตไฟฟ้า

RESEARCH AND DESIGN BIOGAS FOR GENERATE 1 MW ELECTRIC POWER AND BUSINESS PROFITS ANALYZE

นายณัฐดนัย หิรัญจรรยาสิริ

นายภานุวัฒน์ เครือทอง

นายสิวะรักษ์ จับปรั่ง

โครงงานวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

แขนงวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาและออกแบบ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า ขนาด 1 MW และวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของระบบผลิตไฟฟ้า

RESEARCH AND DESIGN BIOGAS FOR GENERATE 1 MW ELECTRIC POWER AND BUSINESS PROFITS ANALYZE

นายณัฐดนัย หิรัญจรรยาสิริ
นายภานุวัฒน์ เครือทอง
นายสิวะรักษ์ จับปรั่ง

โครงงานวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2556

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้า

เรื่อง การศึกษาและออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1 MW และวิเคราะห์ตอบแทนการลงทุนของระบบผลิตกระแสไฟฟ้า

โดย นายณัฐดนัย หิรัฐจรรยาสิริ
นายภานุวัฒน์ เครือทอง
นายสิวะรักษ์ จับปรั่ง

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.คมกฤษ ประเสริฐวงษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.เวคิน ปิยรัตน์)

คณะกรรมการการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธนาธิป สุ่มอิ่ม)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.คมกฤษ ประเสริฐวงษ์)

การศึกษาและออกแบบ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า

ขนาด 1 MW และวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของระบบผลิตไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2556

โดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

นายณัฐดนัย หิรัญจรรยาสิริ ดร.คมกฤษ ประเสริฐวงษ์

นายภานุวัฒน์ เครือทอง

นายสิวะรักษ์ จับปรั่ง

บทคัดย่อ

ในโครงงานนี้เป็นการศึกษาและออกแบบ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW และวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของระบบผลิตไฟฟ้า เพื่อผลิตไฟฟ้าขายให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (EGAT) คือผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งได้จากมูลสุกร โดยการออกแบบเทียบจากโรงผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก (กรณีศึกษา) นำมาออกแบบเป็นระบบผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW

ผลการออกแบบและวิเคราะห์ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW ซึ่งจะทำการผลิตก๊าซชีวภาพออกมาจะได้ก๊าซ 12,000 ลบ.ม./วัน ด้วยระบบการผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 30,146.37 ลบ.ม. ได้ไฟฟ้าประมาณ 1,000 KW โดยจะขายไฟฟ้าหน่วยละ 4.06 บาท และผลของการวิเคราะห์ในระยะเวลาการลงทุนของโครงการ 20 ปี รายรับสุทธิของโครงการ 395,380,000 บาท อัตราผลตอบแทน (IRR) เท่ากับ 21% และระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 4 ปี กับ 8 เดือน

คำสำคัญ : การผลิตไฟฟ้าจากมูลสุกร/ ก๊าซชีวภาพ

RESEARCH AND DESIGN BIOGAS FOR GENERATE 1 MW ELECTRIC AND BUSINESS PROFITS ANALYZE

By

Mr. Nutdanai Hirunjunyasiri

Mr. Panuwat Kreuatong

Mr. Siwarak Jubprang

Advisor

Dr.Komkit Prasertwong

ABSTRACT

This project consists of the study and planning of biogas manufacturing system from pig manure for generating 1 MW of electricity, and analyzing the profit acquired from electricity generating system in order to generate electricity for the disposal to the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) The generating of electricity from biogas manufacturing system from pig manure by planning comparingly with the small-scale biogas powerhouse (case study) will be used in the process of planning to design 1 MW electricity manufacturing system.

The result from planning and analyzing process of biogas manufacturing system from pig manure for generating 1 MW of electricity generates 12,000 m^3 of biogas per day. Wherewith the producing of 30,146.37 m^3 of biogas generates approximately 1,000 KW of electricity and 1 watt of electricity will be disposed at 4.06 Baht. The result from analyzing the investment in the project for 20 years indicates that there will be 395,380,000 Baht of net income of the investment, 21% of internal rate of return (IRR) and 4 years, 8 months of the payback period of the project.

KEYWORD : Generating of electricity by pig manure/ Biogas

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ คมกฤษ ประเสริฐวงษ์ ผู้ให้ความกรุณารับเป็นที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ ข้อคิด และให้ช่วยเหลือด้านข้อมูล แนวทางการทำวิจัยที่ถูกต้องตามระเบียบวิธีจึงทำให้งานวิจัยชิ้นนี้เสร็จสมบูรณ์ไปด้วยดีคณะผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ทีนี้

คณะวิจัยขอขอบพระคุณ คุณ เสาวณี ศรีหมอก สมาชิกองค์การบริหารส่วนตำบล เจ้าของฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดเล็ก ผู้ที่ตอบรับการดูงานที่ฟาร์มและกรุณาให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูล จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดจนขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจเสมอมาจนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
สารบัญสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ	3
2.1.1 ก๊าซชีวภาพ คืออะไร	4
2.1.2 กลุ่มแบคทีเรียที่ทำการย่อยสลาย	4
2.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ	9
2.3 ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	14
2.3.1 การทดลองหาค่า BMP	16
2.3.2 ขั้นตอนการทำ BMP TEST	17
2.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	18
2.4 ตัวอย่างโรงผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก	19

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
2.5 ชนิดและแบบของบ่อก๊าซชีวภาพ	20
2.5.1 บ่อหมักช้าหรือบ่อหมักของแข็ง	20
2.5.2 บ่อหมักเร็วหรือบ่อบำบัดน้ำเสีย	24
2.6 การเปรียบเทียบพลังงานก๊าซชีวภาพกับพลังงานอื่นๆโดยประมาณ	25
2.7 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ	25
2.7.1 ด้านพลังงาน	25
2.7.2 ด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อม	26
2.7.3 ด้านการเกษตร	26
2.8 เครื่องยนต์	26
2.8.1 เครื่องยนต์สันดาปภายใน	26
2.8.2 เครื่องยนต์ 4 จังหวะ	27
2.8.3 ระบบจุดระเบิด	29
2.8.4 ระบบระบายความร้อน	29
2.8.5 ระบบไอดี	29
2.8.6 แรงม้าและแรงบิด	29
2.8.7 เครื่องยนต์ 2 จังหวะ	30
2.8.8 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อน	32
2.8.9 กำลังเพลา	33
2.8.10 อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ	33
2.8.11 กำลังเทียบเท่าจากเชื้อเพลิง	33
2.9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	34
2.9.1 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	34
2.9.2 การวิเคราะห์โครงการ	37

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 3 หลักการออกแบบ	40
3.1 แผนการดำเนินงาน	40
3.2 ขั้นตอนการออกแบบ	41
บทที่ 4 ผลการออกแบบ	45
4.1 กรณีศึกษาดูงานข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร	45
4.2 การออกแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ	46
4.2.1 การคำนวณจำนวนสุกร	46
4.2.2 ออกแบบขนาดบ่อหมักก๊าซชีวภาพ	48
4.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ	57
4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	59
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการออกแบบ	62
5.2 อุปสรรคและข้อผิดพลาด	63
5.3 ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลวิเคราะห์และค่าใช้จ่าย	67
ภาคผนวก ข กลุ่มก๊าซที่ย่อยสลาย ศักยภาพต่างๆ และอัตราการทดแทนการใช้พลังงาน	70
ภาคผนวก ค ระบบการผลิต บ่อหมักแบบโดมและประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบต่างๆ	73
ภาคผนวก ง ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า การรับซื้อไฟฟ้าและศักยภาพก๊าซชีวภาพคงเหลือ	78
ภาคผนวก จ สมมติฐานและปริมาตรการปล่อยก๊าซและมลพิษกำลังการผลิตที่พึ่งได้	81
ภาคผนวก ฉ กลไกการส่งเสริม กองทุนและเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ	83
ประวัติย่อนิสิตผู้ทำโครงงาน	85

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	4
2.2 คุณสมบัติก๊าซชนิดต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	7
2.3 ตารางเปรียบเทียบผลตอบแทนก๊าซชีวภาพแต่ละวิธี	7
2.4 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของก๊าซมีเทน	8
2.5 องค์ประกอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการหมักในสภาวะไร้อากาศ	16
2.6 ก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม.เทียบเท่า	25
2.7 บ่อก๊าซชีวภาพขนาด 100 ลบ.ม. จะผลิตก๊าซชีวภาพได้ ประมาณวันละ 50 ลบ.ม.	25
2.8 แสดงต้นทุนการผลิตพลังงาน	25
4.1 ข้อมูลจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นภายในฟาร์ม	45
4.2 เปรียบเทียบความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจาการออกแบบระหว่างฟาร์ม A และ ฟาร์ม B	47
4.3 ขนาดบ่อหมักราง CMU-CD	52
4.4 แสดงงบประมาณในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ	55
4.5 รายละเอียดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชีวภาพ	57
4.6 ข้อมูลสรุปการออกแบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร	59
4.7 แสดงรายรับ (B), รายจ่าย (A), รายรับสุทธิ (B-C) ของโครงการ (หน่วย:บาท)	60
4.8 แสดงค่า NPV และ B/C ratio ของโครงการ	61
5.1 รายละเอียดการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และพลังงานไฟฟ้าที่สามารถ ผลิตได้	61
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก-1 ข้อมูลสรุปการออกแบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์	67
ภาคผนวก ก-2 แสดงงบประมาณในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ	68

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ภาคผนวก ก-3 แสดงรายรับ (B), รายจ่าย (A), รายรับสุทธิ (B-C) ของโครงการ (หน่วย:บาท) 68
ภาคผนวก ก-4 แสดงค่า NPV , B/C ratio และ IRR ของโครงการ 68
ภาคผนวก ก-5 แสดงการคำนวณค่า IRR 69
ภาคผนวก ข-1 กลุ่มก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายของอินทรียวัตถุ 70
ภาคผนวก ข-2 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของของเสียแต่ละชนิด 70
ภาคผนวก ข-3 การประเมินศักยภาพพลังงานจากมูลสัตว์, พ.ศ.2543 71
ภาคผนวก ข-4 อัตราการทดแทนการใช้พลังงานของก๊าซชีวภาพ 72
ภาคผนวก ค-8 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบต่างๆ 77
ภาคผนวก ง-1 แสดงต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 78
ภาคผนวก ง-2 สถานภาพการรับซื้อไฟฟ้าจาก SPP และ VSPP ประเภทก๊าซชีวภาพ 78
ภาคผนวก ง-3 มาตรการส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน 79
ภาคผนวก ง-4 ศักยภาพก๊าซชีวภาพคงเหลือสำหรับผลิตพลังงาน 80
ภาคผนวก จ-1 สมมติฐานการปล่อยก๊าซ 81
ภาคผนวก จ-2 ปริมาณการปล่อยมลพิษ 81
ภาคผนวก จ-3 กำลังการผลิตพึ่งได้ของพลังงานหมุนเวียน 82
ภาคผนวก จ-4 ปริมาณก๊าซสุกร 1 ตัว 82
ภาคผนวก ฉ-2 กองทุนพัฒนาไฟฟ้า 84
ภาคผนวก ฉ-3 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ 84

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ	3
2.2 แสดงการย่อยสลาย COD ในน้ำเสียเสียด้วยกระบวนการใช้ออกซิเจน	5
2.3 แสดงการย่อยสลาย COD ในน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน	5
2.4 กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ	10
2.5 ขั้นตอนและร้อยละของสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	14
2.6 ภาพห้องควบคุมอุณหภูมิ และอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง	17
2.7 สูตรและตัวอย่างการสร้างกราฟปริมาณก๊าซมีเทนสะสม	18
2.8 แผนผังบ่อก๊าซชีวภาพ	19
2.9 บ่อหมักก๊าซชีวภาพ	19
2.10 ส่วนประกอบของบ่อก๊าซชีวภาพ	20
2.11 บ่อก๊าซชีวภาพแบบยอดโดม	21
2.12 บ่อก๊าซชีวภาพแบบปลั๊กโฟลว์	22
2.13 บ่อก๊าซชีวภาพแบบไฮฟี	23
2.14 บ่อหมักเร็วแบบบรรจุตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน และแบบยูเอสบี	24
2.15 ภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ทั่วไป	27
2.16 หัวเทียนใช้สำหรับจุดเชื้อเพลิงผสมให้เกิดการเผาไหม	27
2.17 ชิ้นส่วนสำคัญของเครื่องยนต์	28
2.18 กราฟแสดงแรงม้าและแรงบิดของเครื่องยนต์	30
2.19 จังหวะดูดและอัด	31
2.20 จังหวะกำลังและจังหวะคาย	31
2.21 กราฟรายจ่าย (B.E.P)	35
2.22 กราฟแสดงรายรับ (B.E.P)	35
2.23 กราฟแสดงจุดคุ้มทุน (B.E.P)	36

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.24 โครงสร้างและขนาดระบบ CMU-CD 47

4.25 ส่วนประกอบของบ่อหมัก 49

4.26 ส่วนประกอบของบ่อหมัก 50

4.27 ส่วนประกอบของบ่อหมัก 50

4.28 ส่วนประกอบของบ่อหมัก 51

4.29 แสดงแบบส่วนที่กักเก็บก๊าซชีวภาพ 52

4.30 แสดงสัดส่วนของทรงรี 53

4.31 ส่วน หัว-ท้าย ของส่วนกักเก็บก๊าซ 53

4.32 แสดงหน้าตัดของส่วนกักเก็บ 54

4.33 ส่วนกลางของส่วนกักเก็บก๊าซ 54

4.34 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก๊าซชีวภาพขนาด 1 MW 58

ภาคผนวก 66

ภาคผนวก ค-1 ระบบผลิตจากวัสดุต่างๆ 73

ภาคผนวก ค-2 การผลิตก๊าซชีวภาพใช้ภาคอุตสาหกรรม 74

ภาคผนวก ค-3 ระบบบ่อหมักโดมคงที่ 74

ภาคผนวก ค-4 แสดงระบบโรงไฟฟ้าและบ่อ 75

ภาคผนวก ค-5 แสดงบ่อหมักแบบ PVC 75

ภาคผนวก ค-6 แสดงระบบภายในบ่อ 76

ภาคผนวก ค-7 แสดงบ่อหมัก 76

ภาคผนวก ฉ-1 แสดงกลไกการส่งเสริมพลังงานทดแทน 83

สารบัญสัญลักษณ์และคำย่อ

BMP	ย่อมาจาก	Biochemical Methane Potential
HYPHI	ย่อมาจาก	Hybrid Plug flow High rate System
AF	ย่อมาจาก	Anaerobic Filter
BHP	ย่อมาจาก	Break Horse Power
IHP	ย่อมาจาก	Indicated Horse Power
FHP	ย่อมาจาก	Friction Horse Power
SFC	ย่อมาจาก	Specific Fuel Consumption
FEP	ย่อมาจาก	Fuel Equivalent Power
BEP	ย่อมาจาก	Break Even Point
NPV	ย่อมาจาก	Net Present Value
IRR	ย่อมาจาก	Internal Rate of Return
B/C Ratio	ย่อมาจาก	Benefit Cost Ratio
N	ย่อมาจาก	Initialinvestment

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ณ.ปัจจุบันนี้การใช้พลังงานมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ และแหล่งพลังงานต่างๆ ของโลกที่กำลังจะหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ จึงทำให้ราคาของพลังงานต่างๆ มีมูลค่าสูงขึ้นจึงจำเป็นต้องคิดค้นหาวิธีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งยังต้องแสวงหาแหล่งพลังงานอื่นๆมาทดแทน ในปัจจุบันทางอุสาหกรรมต่างๆจะใช้แหล่งพลังงานดังนี้ น้ำมัน แก๊สหุงต้ม แก๊สปิโตเลียมเหลว แก๊สอื่นๆ ถ่านหิน เป็นจำนวนมาก ในการใช้แหล่งพลังงานดังกล่าวนี้ ทำให้ราคาของพลังงานมีมูลค่าสูงขึ้น และแหล่งพลังงานบางอย่างมีปริมาณลดน้อยลง พร้อมกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ

ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถนำพลังงานชีวภาพ มาจากแหล่ง ต่างๆ เช่น มูลสัตว์ เป็นต้น โดยออกแบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1 MW การศึกษาประสิทธิภาพ วิเคราะห์การลงทุน จุดคุ้มทุนและอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน

ประโยชน์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานแทนก๊าซธรรมชาติ ในที่นี้ก๊าซชีวภาพสามารถนำพลังงานดังกล่าวมาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังไฟฟ้า 1 MW เพื่อขายส่งให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิต(EGAT) ศึกษาการลงทุนของระบบการผลิตพลังงานจากมูลสุกรเพื่อไปผลิตไฟฟ้า ศึกษาว่าเหมาะแก่การลงทุนหรือไม่

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

1.2.1 ศึกษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากการใช้มูลสุกร เพื่อเป็นเชื้อเพลิง สำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW

1.2.2 ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และคำนวณอัตราการสิ้นเปลือง ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

1.2.3 ออกแบบระบบและประยุกต์ระบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อผลิตไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพ

1.2.4 วิเคราะห์จุดคุ้มทุนและอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ สำหรับการวางระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยนำไฟฟ้าไปขายให้การไฟฟ้า โดยมีขนาดกำลังไฟฟ้า 1 MW

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

1.3.1. ศึกษาและออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ที่เหมาะสมจากการใช้มูลสุกรเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW

1.3.2. ศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวภาพ ในการผลิตไฟฟ้าขนาดกระแสไฟฟ้า 1 MW

1.3.3. วิเคราะห์จุดคุ้มทุนและอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1 MWเพื่อขายให้กับการไฟฟ้า

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์

1.4.1. สามารถนำก๊าซชีวภาพไปประยุกต์ใช้เป็นพลังงาน และนำมาผลิตไฟฟ้า

1.4.2. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบต้นแบบของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อการใช้สำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้งานสำหรับใน ฟาร์ม อาคารที่พักอาศัย หรืออุตสาหกรรม หรือเป็นแนวทางในการคิดค้นพลังงานทดแทนใหม่ๆ ที่ไม่ส่งผลเสียต่อธรรมชาติ

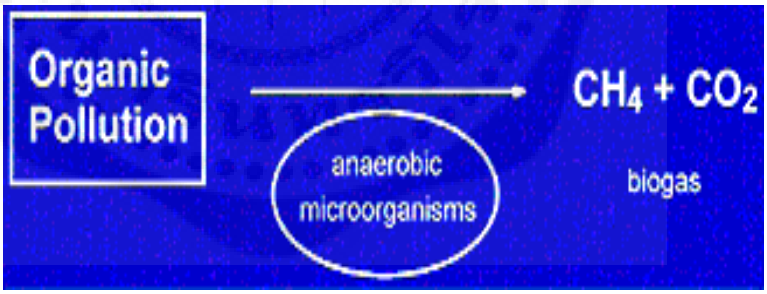
1.4.3. เพิ่มความสามารถการเรียนรู้และเข้าใจวิชาการออกแบบด้านพลังงานทดแทน

1.4.4. สามารถลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และธรรมชาติ เช่น ปัญหาด้านขยะ ปัญหาด้านมลภาวะ และปัญหาด้านสาธารณูปโภค

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ หมายถึง ก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีอากาศ โดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ (Anaerobic Bacterial) ก๊าซชีวภาพมีองค์ประกอบหลัก คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) นอกจากนี้ยังมีก๊าซอื่นๆ ปะปนอยู่ด้วยเล็กน้อย เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ออกซิเจน (O_2) และไนโตรเจน (N_2) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งสัดส่วนของก๊าซแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในขณะเดินระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ องค์ค่า pH ความเป็นด่าง (Alkalinity) ระยะเวลากักเก็บ (HRT) ระยะเวลากักเก็บตะกอน (SRT) ซึ่งมีผลประสิทธิภาพการทำงานของเชื้อแบคทีเรียแต่ละกลุ่มซึ่งจะมีหน้าที่ในแต่ละขั้นตอนของการย่อยสลายสารอินทรีย์ และขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพแต่ต่างกันไป โดยจะขึ้นกับชนิดของสารอินทรีย์เริ่มต้น (สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ส.ผ.))



รูปที่ 2.1 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ
(สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ส.ผ.))

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบ	ส่วนผสม (%)
มีเทน (CH_4)	50-70
คาร์บอนไดออกไซน์ (CO_2)	30-50
ก๊าซอื่น ไนโตรเจน (N_2) ไฮโดรเจน (H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	0-8

2.1.1 ก๊าซชีวภาพคืออะไร

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) หรือ ก๊าซมูลสัตว์ คือ ก๊าซที่เกิดจากการนำมูลสัตว์หรืออินทรีย์สารชนิดต่างๆ ไปหมักในสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) โดยมีกลุ่มแบคทีเรียที่เรียกว่าแบคทีเรียไร้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) จะทำการย่อยอินทรีย์สารและจะผลิตก๊าซชีวภาพออกมา

อินทรีสาร หมายถึง สิ่งที่ใช้ในการหมัก อาจใช้มูลสัตว์ เช่น มูลช้าง มูลสุกร มูลวัวหมู ควาย ฯลฯ พืชต่างๆ เช่น ผักตบชวา หรือ
ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานสุรา เป็นต้น

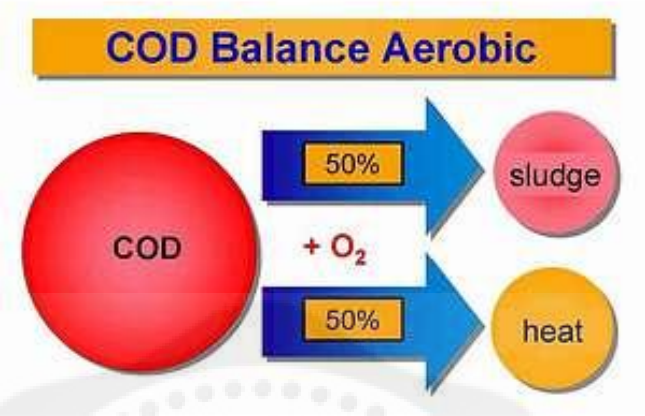
2.1.2 กลุ่มแบคทีเรียที่ทำการย่อยสลาย กลุ่มนี้มีด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่

2.1.2.1. Psychrophilic แบคทีเรียชนิดนี้จะผลิตก๊าซได้ในช่วงอุณหภูมิ 0 - 10 ° c แต่จะผลิตก๊าซได้ปริมาณน้อยและเมื่ออุณหภูมิต่างจากนี้ แบคทีเรียชนิดนี้จะหยุดการย่อยอินทรีย์สารทำให้ไม่เกิดก๊าซและแบคทีเรียชนิดนี้อาจจะตายลงได้

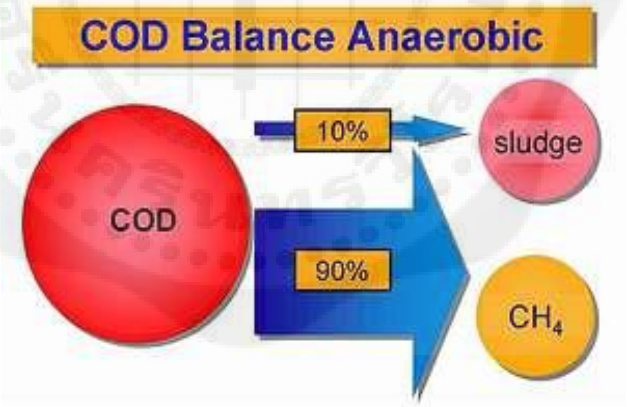
2.1.2.2. Mesophilic แบคทีเรียชนิดนี้จะผลิตก๊าซได้ในช่วงอุณหภูมิ 30 - 40 c ผลิตก๊าซได้ในปริมาณปานกลางแต่จะทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดี ถึงแม้อุณหภูมิจะแตกต่างไปกว่านี้เล็กน้อยแบคทีเรียชนิดนี้ก็ยังสามารถมีชีวิตอยู่ได้

2.1.2.3. hermophilic แบคทีเรียชนิดนี้จะผลิตก๊าซได้ในช่วงอุณหภูมิ 50 - 58° c ผลิตก๊าซได้ในปริมาณมากที่สุดในบรรดาแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิดแต่แบคทีเรียชนิดนี้เป็นพวกที่อ่อนแอที่สุด ไม่สามารถทนกับสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย เช่น มีฝนตกซึ่งจะทำให้อุณหภูมิใน

บ่อลดลงประมาณ 2° c แบคทีเรียชนิดนี้ก็จะตายทันที ดังนั้นถ้าหากต้องการให้แบคทีเรียชนิดนี้ย่อยอินทรีสารที่มีปริมาณมากๆให้หมดเร็วๆ จะต้องมีระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมของบ่อด้วย



รูปที่ 2.2 แสดงการย่อยสลาย COD ในน้ำเสียด้วยกระบวนการใช้ออกซิเจน



รูปที่ 2.3 แสดงการย่อยสลาย COD ในน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน

สามารถคำนวณหาปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4)ที่เกิดจากกระบวนการไร้ออกซิเจนได้จากการ

$$CH4 + 2O2 \longrightarrow O2 + 2H2O \qquad (2)$$

จะเห็นว่าทุกๆ 1 โมล ของมีเทน (22.4 L, 0 °C) จะถูกทำลายโดยออกซิเจน 2 โมล (หรือ 64 กรัม)

ปริมาณค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพมีค่าแปรผันตามปริมาณก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพ ถ้าก๊าซชีวภาพมีปริมาณมีเทนอยู่ประมาณ 65-70% จะมีค่าความร้อนประมาณ 21-25 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร ถ้าก๊าซชีวภาพมีปริมาณก๊าซมีเทนลดลงมาเหลือแค่ประมาณ 50-55% ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพจะลดลงเหลือประมาณ 18-20 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร ดังตารางที่ 2-2 ดังนั้นปริมาณค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับปริมาณปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือระดับความบริสุทธิ์ของก๊าซชีวภาพ สำหรับก๊าซธรรมชาติมีส่วนผสมของก๊าซมีเทน ก๊าซโพรเพนและก๊าซบิวเทนให้ค่าความร้อนประมาณ 3.73 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร (สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ส.ผ.)) เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถทดแทนเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นได้ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม เป็นต้น จึงทำให้ก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบโดยหากระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีขนาดใหญ่ ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะสามารถนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า (Electric Energy)พลังงานความร้อนโดยใช้เครื่องยนต์ก๊าซ (Gas Engine) กังหันก๊าซ (Gas Turbine) หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม (Boiler) ส่วนระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีขนาดเล็กระดับชุมชนหรือครัวเรือน ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้สำหรับตะเกียงก๊าซ (Biogas Lamp)เตาหุงต้ม หรือเครื่องปั้มน้ำได้เหมือนก๊าซธรรมชาติ แต่มีความสะดวกในการใช้งานมากกว่าการใช้ฟืนหรือถ่าน อีกทั้งยังปราศจากควันและเขม่า จึงทำให้สถานที่ที่ใช้ก๊าซนี้มีความสะอาดกว่า สามารถใช้ก๊าซชีวภาพได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องมือใดๆ เพียงแต่ปรับสัดส่วนอากาศให้เหมาะสม ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถทดแทนก๊าซหุงต้มได้ 0.46 กิโลกรัม ถ้าก๊าซหุงต้ม
ราคา 17 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัม ก๊าซชีวภาพมีค่า 7.82 บาทต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตรแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติก๊าซชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ชนิดของก๊าซ/คุณสมบัติ	CH_4	CO_2	H_2	H_2S	60%CH_4 40%CO_2	65%CH_4 34%CO_2 1%อื่นๆ
ค่าความร้อน (KJ)	35.64	-	10.8	22.68	21.6	23.4
สัดส่วนติดไฟในอากาศ (%ในอากาศ)	5-15	-	4-80	4-45	6-12	7.7-23
อุณหภูมิติดไฟ (°C)	650-750	-	585	-	650-750	650-750

ความดันเปลี่ยนสถานะ (bar)	47	75	13	89	75-89	75-89
อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ (˚C)	-82.5	31	-240	100	-82.5	-82.5
ความหนาแน่น (g/L)	0.72	1.98	0.09	1.54	1.2	1.15
ความจุความร้อน ($KJ/m^3/^{\circ}C$)	1.6	1.6	1.3	1.4	1.6	1.6

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบผลตอบแทนก๊าซชีวภาพแต่ละวิธี

การนำก๊าซชีวภาพใช้งาน	มูลค่าก๊าซชีวภาพ (บาท/ลบ.ม.)
1. แทนน้ำมันเบนซิน (20บาท/ลิตร) ได้ 0.68 ลิตร	13.60
2.แทนน้ำมันดีเซล (16บาท/ลิตร) ได้ 0.59 ลิตร	9.44
3.แทนก๊าซหุงต้ม (17บาท/กก.) ได้ 0.46 กก.	7.82
4.ผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ (2.3บาท/หน่วย) ได้ 2.086 หน่วย	4.80
5.แทนน้ำมันเตา (9บาท/ลิตร) ได้ 0.52 ลิตร	4.70
6.ทำความเย็น (2.3บาท/ตัน) ได้ 1.7 ตัน	3.91
7.ผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำ (2.30บาท/หน่วย) ได้ 1.20 หน่วย	2.76

แต่อย่างไรก็ตามพบว่าก๊าซมีเทนจะส่งผลกระทบต่อบรรยากาศมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 24 เท่า (สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ส.ผ.))หากปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศดังนั้นการเผาทำลายก๊าซมีเทนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพหรือการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์จึงช่วยลดอัตราการเกิดภาวะเรือนกระจกหรือลดอุณหภูมิความร้อนให้โลกก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือจุดติดไฟได้ดี ตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของก๊าซเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับก๊าซมีเทนได้

ตารางที่ 2.4 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของก๊าซมีเทน

สูตรทางเคมี	CH_4
น้ำหนักโมเลกุล	16.042
จุดเดือดที่ 14.696 psia (760 mm)	-161.49 ˚C
จุดเยือกแข็งที่ 14.696 psia (760 mm)	-182.48 ˚C
ความดันวิกฤต	47.363 Kg/m^3
อุณหภูมิวิกฤต	-82.5 ˚C
ความถ่วงจำเพาะ : ของเหลว ˚C : -164 ˚C	0.415
ความถ่วงจำเพาะ : ก๊าซ ˚C : 25˚C และ 770 mm	0.000658
ปริมาตรจำเพาะ ˚C : 15.5 ˚C และ 760 mm	1.47 L/g
ค่าความร้อน ˚C : 15.5 ˚C และ 760 mm	38,130.71 KJ/m^3
ความต้องการอากาศสำหรับการเผาไหม้	0.27 m^3
ความสามารถในการติดไฟ	5-15 % โดยปริมาตร
อัตราออกเทน	130
อุณหภูมิการเผาไหม้	650 ˚C
สมการการเผาไหม้	$CH_4+2O_2 \longrightarrow CO_2+2H_2O$
อัตราส่วน O_2/CH_4 ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	3.98 โดยน้ำหนัก
อัตราส่วน O_2/CH_4 ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	2.00 โดยน้ำหนัก
อัตราส่วน CO_2/CH_4 ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	2.74 โดยน้ำหนัก
อัตราส่วน CO_2/CH_4 ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	1.00 โดยน้ำหนัก

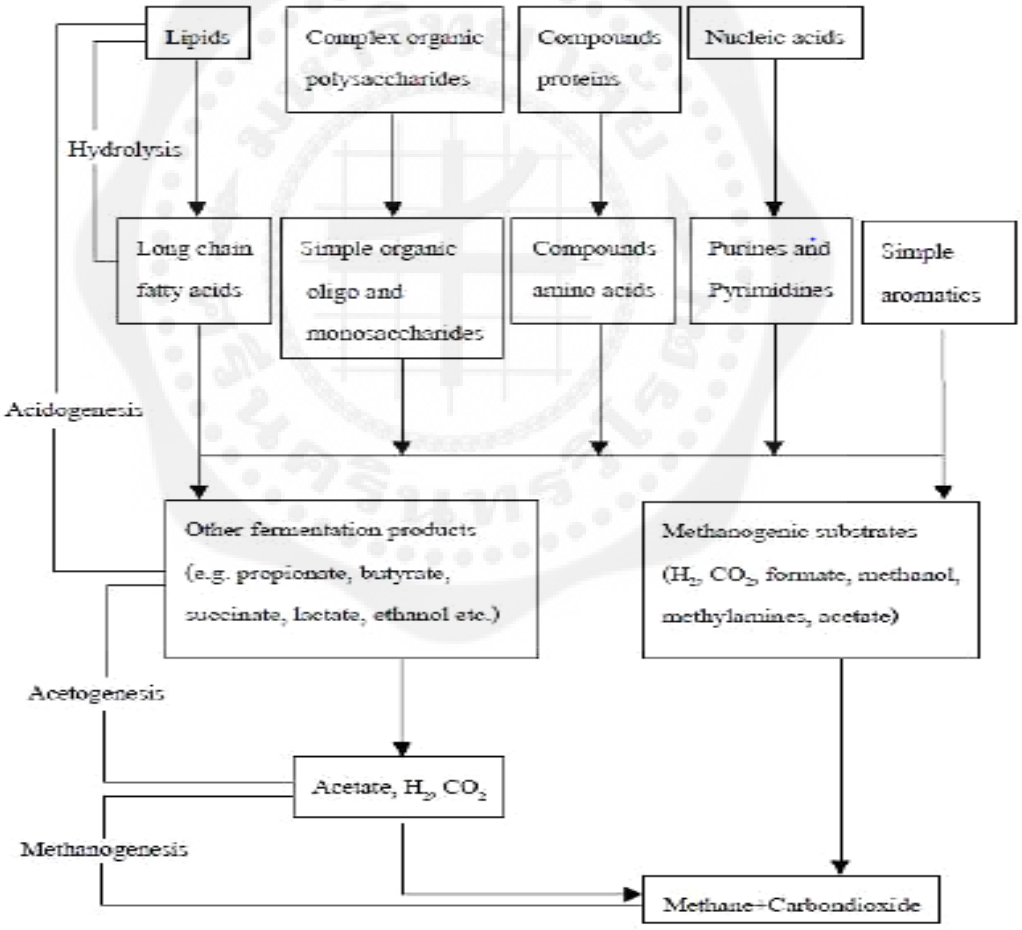
2.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Digestion)

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสภาวะไร้อากาศเกิดจากการหมักสารอินทรีย์ โดยที่สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียหลายชนิดเพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซทั้งสองชนิดเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ กระบวนการทางชีววิทยาสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศในการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ไป

เป็นก๊าซชีวภาพ แสดงได้ดังสมการ (2-1) สารอินทรีย์ในวัสดุหมักจะถูกย่อยสลายจากโมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงเรื่อยๆ และมีสภาพคงตัวมากขึ้น

$$\text{Organic matter} \longrightarrow CH_4 + CO_2 + H_2 + NH_3 + H_2S \qquad (2\text{-}1)$$

ปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียสามารถแบ่งได้ 4 ขั้นตอน (John Wiley and Sons, 1994) คือ การไฮโดรไลซีส (Hydrolysis) การอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) การอะซิโตเจเนซีส (Acitogensis) และการสร้างมีเทน (Methanogenesis) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ
(สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ส.ผ.))

2.2.1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กระบวนการนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กระบวนการแตกสลายพอลีมอร์ (Polymer Break-Down) การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน (Complex Organic Compound) ให้กลายเป็นสารอินทรีย์เชิงเดี่ยวโดยที่ยังไม่มีการลดจำนวนสารอินทรีย์แต่อย่างใด แบคทีเรียที่เกี่ยงข้องในขั้นตอนนี้เป็นพวก Hydrolytic Bacteria และ Fermentative Bacteria ผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลไม่ซับซ้อนและละลายน้ำได้ เช่น การย่อยสลายแป้งซึ่งเป็นสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรตให้อยู่ในรูปของน้ำตาลโมเลกุลเล็กลงคือน้ำตาลกลูโคสการย่อยสลายโปรตีนให้อยู่ในรูปของกรดอะมิโน และการย่อยสลายไขมันให้อยู่ในรูปของกรดไขมันเป็นต้น ดังแสดงในสมการที่ (2-2) - (2-4) โดยสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ในตอนแรกจะเป็นพวก Simple Soluble Compound จะถูกทำให้ละลายน้ำและเคลื่อนย้ายเข้าไปในเนื้อเยื่อในเซลล์ต่อไปซึ่งใช้เอนไซม์ที่ขับออกมาสู่ภายนอกเซลล์(Extra Cellular Enzyme) ของแบคทีเรียจำพวก Hydrolysis Bacteria ชนิดและปริมาณของแบคทีเรียในถังหมักจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของความเข้มข้นสารอินทรีย์และสภาพแวดล้อมภายในระบบ เช่น pH และอุณหภูมิ เป็นต้น

$$\text{Carbohydrate} \longrightarrow \text{Simple sugar} + \text{Alcohol} \qquad (2\text{-}2)$$

$$\text{Proteins} \longrightarrow \text{Peptide} + \text{Amino acid} \qquad (2\text{-}3)$$

$$\text{Fats} \longrightarrow \text{Glycerol} + \text{Fatty acid} \qquad (2\text{-}4)$$

2.2.2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิส โดยจะถูกแบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acidogenic Bacteria) ดูดซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่เซลล์ และใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานโดยกระบวนการหมัก (Fermentation) ผลของปฏิกิริยาจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยวให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) ที่มีโมเลกุลคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอมเช่น กรดอะซิติก (Acetic Acid) กรดฟอร์มิค (Formic Acid) กรดโพพิโอนิค (Propionic Acid) กรดไอโซบิวทิริค (Isobutyric Acid) กรดวาเลอริค (Valeris Acid)กรดไอโซวาเลอริค (Isovaleric Acid) และกรดบิวทิริค (Butyric Acid) เป็นต้น
ดังแสดงในสมการที่ (2-5)-(2-7) (Banejee, et al. 1998) นอกจากนี้ยังได้ แอลกฮอล์ ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย

Monosaccharide $\longrightarrow$ Butyric Acid , Acetic Acids,Propionic Acid,Ethanol,CO_2 ,H_2 (2-5)

Amino Acids $\longrightarrow$ Acetic Acid , CO_2 , NH_3 (ย่อยสลายโดย Stickland - Reaction) (2-6)

Fatty Acids $\longrightarrow$ Propionic Acid , Acetic Acid , H_2 (2-7)

2.2.3 กระบวนการอะซิโตรเจเนซิส (Acetogenesis)

อะซิโตเจเนซิสเป็นกระบวนการที่นำกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็กจากกระบวนการอะซิโดเจเนซีสที่มีปริมาณคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม มาเปลี่ยนให้กลายเป็นอะซิเตท (Acetate) ฟอร์เมท (Formate) ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการสร้างก๊าซมีเทน โดยใช้ Acetogenic Bacteria ขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการหลีกเลี่ยงการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยและไฮโดรเจนในปริมาณที่สูงพอที่จะยับยั้งกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน ตัวอย่างกระบวนการย่อยสลายกลูโคสไปเป็นกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ (Thiele , 1991) แสดงดังสมการ (2-8)-(2-10)

$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$ (2-8)
(Acetic Acid)

$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \longrightarrow 2CH_3CH_2COOH + 2H_2O$ (2-9)
(Propionic Acid)

$2C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3CH_2CH_2COOH + 4CO_2 + 4H_2$ (2-10)
(Butyric Acid)

ตัวอย่างปฏิกิริยาในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นไปเป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจน (Gourdon , 1989) แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$CH_3CH_2OH + H_2O \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2$ (2-11)
(Ethanol) (Acetic Acid)

$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + 3H_2 + CO_2$ (2-12)
(Propionic Acid) (Acetic Acid)

$$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2H_2 \quad (2\text{-}13)$$

(Butyric Acid) (Acetic Acid)

2.2.4 มีทาโนเจเนซิส (Methanogenesis)

มีทาโนเจเนซิสเป็นขั้นตอนสุดท้ายในขั้นตอนการสร้างก๊าซมีเทนจากกรดอะซิเตทกรดฟอร์เมท ก๊าซโฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการอะซิโตเจเนซิสโดยจะถูกแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic Bacteria) ย่อยสลายแล้วเปลี่ยนให้เป็นก๊าซต่างๆ ซึ่งก๊าซที่สำคัญได้แก่ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณสองในสามของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดมาจากการใช้อะซิเตท ปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดอะซิติกไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งปฏิกิริยารีดักชันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยก๊าซไฮโดรเจนไปเป็นก๊าซมีเทน (Albagnac , 1990) แสดงดังสมการ (2-14)-(2-15)

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \quad (2\text{-}14)$$

Acetic Acid Methane Carbon Dioxide

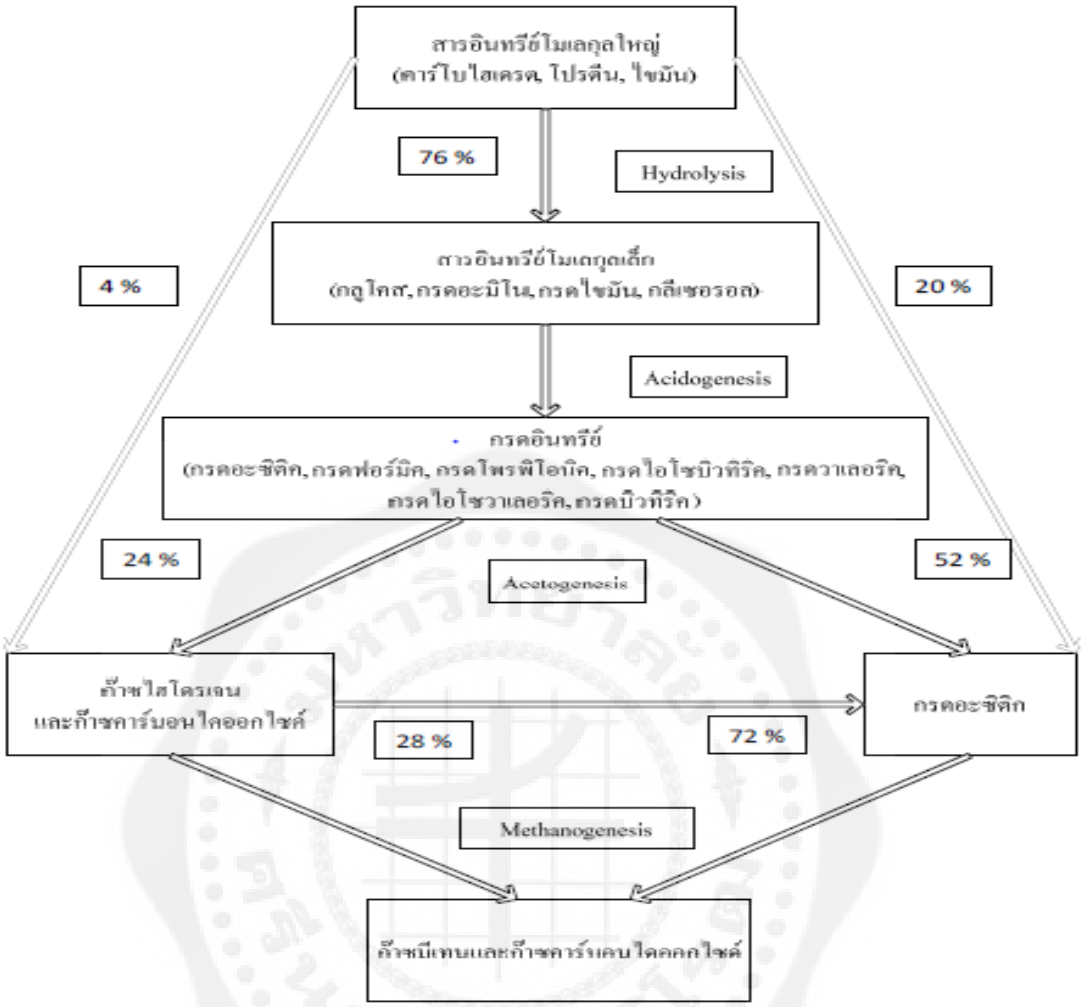
$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \quad (2\text{-}15)$$

Carbon Dioxide Hydrogen Methane Water

ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวมวลมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลักประมาณร้อยละ 75-80 ในองค์ประกอบของก๊าซทั้งหมด ถ้ารู้องค์ประกอบของวัตถุดิบตั้งต้นและให้วัตถุดิบตั้งต้นถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซทั้งหมด สามารถทำดุลมวล (Mass Balance) ระหว่างองค์ประกอบของวัตถุดิบเริ่มต้นกับก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้น กระบวนการผลิตก๊าซมีเทนจากวัตถุดิบเริ่มต้นแสดงดังสมการ (16) (Buswell et al, 1952)

$$C_nH_aO_b + (n - a/4 - b/2)H_2O \longrightarrow (n/2 + a/8 - b/4)CH_4 + (n/2 - a/8 + b/4)CO_2 \quad (2\text{-}16)$$

สารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทนจากสารอินทรีย์สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังภาพประกอบที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนและร้อยละของสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนใน
กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ
(สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ส.ผ.))

2.3 ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

สำหรับระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ ประกอบด้วยการทำงานของแบคทีเรีย 2 กลุ่มหลักๆ ที่เกี่ยวข้องกันได้แก่ แบคทีเรียพวกที่ไม่สร้างก๊าซมีเทน (Non Methanogenic Bacteria) และแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic Bacteria) ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นในแบคทีเรียกลุ่มใด ย่อมส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ n ดังนั้น สภาวะแวดล้อมทีเหมาะสมจึงส่งผลต่อการทำงานแบคทีเรีย ซึ่งเป็นดรรชนีที่จะบ่งชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตก๊าซชีวมวล คือ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาตร ของถัง

หมัก ดังนั้น ระบบที่มีประสิทธิภาพสูงจะผลิตก๊าซได้มากกว่าระบบที่มีประสิทธิภาพต่ำ สำหรับถังหมักขนาดเท่ากัน หรืออีกนัยหนึ่งถ้าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้นได้ สามารถลดขนาดของถังหมักได้ ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้ ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวมวลจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 2 ประการด้วยกัน คือ องค์ประกอบทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Parameter) และองค์ประกอบด้านการทำงานของถังหมัก (Oprational Parameter) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.5

องค์ประกอบ 2 ประการ

1. องค์ประกอบทางด้านสิ่งแวดล้อม
   - ความเป็นกรด-ด่าง (pH 6.8-7.4)
   - Alkalinity (ความต้านทาน pH)
   - Volatile acid concentration.
   - อุณหภูมิ 35° c
   - อาหารเสริมสร้าง C , N_2, P , K ฯลฯ
   - สารพิษ
   - การกวน
2. องค์ประกอบด้านการทำงาน
   - วัตถุดิบ
   - สถานะทางกายภาพของสารอินทรีย์
   - ปริมาณน้ำ น้ำ : มูลสัตว์ = 2 : 1
   - ระยะเวลาการเกิดก๊าซ

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการหมักในสภาวะไร้อากาศ

Environmental Parameter	Operational Parameter
1.pH	1.Raw Materials
2.Alkalinity	2.Physical State of Organic Substance
3.Volatile Acid concentration	3.Mode of Operation
4.Temperature	4.Organic Loading
5.Nutrient Availability	5.Hydraulic Retention Time
6.Toxic Substances	6.Solid Retention Time
7.Mixing	

2.3.1 การทดลองหาค่า BMP Biochemical Methane Potential (BMP)

เป็นการทดลองหาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของของเสียที่นำมาบำบัดด้วยระบบแบบไม่ใช้ออกซิเจน แสดงในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อกรัมซีโอดี หรือกรัม VS ของเสียที่ป้อนเข้าไป ค่า BMP ที่ได้ จะแสดงถึงศักยภาพในการผลิตมีเทนสูงสุดของของเสีย

(1) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุหมักหลัก : น้ำเสียฟาร์มสุกร และเชื้อตั้งต้น ทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีก่อนทำการทดลอง ได้แก่ ค่าพีเอช, ค่าซีโอดีรวม, ค่าซีโอดีกรอง, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, แอมโมเนีย, กรดไขมันระเหยง่าย, ความเป็นด่าง และปริมาณของแข็งในรูปต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณตามอัตราส่วนการหมักของการศึกษาในขั้นต่อไป

วัสดุหมักร่วม : เศษอาหาร กลีเซอรีน หญ้าเนเปียร์ ฟางข้าว และต้นข้าวโพด ถูกใช้เป็นวัสดุหมักร่วมในการการทดลอง โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้น ได้แก่ ค่าพีเอช, ค่าความชื้น, คาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, ไขมัน, ปริมาณขี้เถ้า, แป้ง, เยื่อใย, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, ออร์แกนิกคาร์บอน และปริมาณของแข็งในรูปต่างๆ ก่อนทำการบำบัดเบื้องต้น

อุปกรณ์ : การหาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของของเสียทั้งหมด 5 ชนิด ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน ได้ดำเนินการทดลองกับชุดเขย่า ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์วัดก๊าซมีเทน ซึ่งทำงานที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที การวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ โดยอุปกรณ์วัดก๊าซจะบรรจุน้ำด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.5% ปรับสีด้วยฟีนอฟทาลีน เพื่อสังเกตประสิทธิภาพของน้ำด่าง เมื่อความเข้มข้นของโซเดียม ไฮดรอกไซดเริ่มจะลดลง สีของฟีนอฟทาลีนก็จะจางลง ปริมาณก๊าซทั้งหมดจะถูกเก็บสะสมไว้ในกระบอกตวงปริมาตรไม่เกิน 500 มิลลิลิตร สามารถอ่านค่าได้จากสเกลกระบอกตวงตามระยะเวลาที่กำหนดตลอดจนของเสียถูกหมักย่อยเสร็จสมบูรณ์ โดยทำการทดลองในห้องควบคุมอุณหภูมิ 37?2 องศา

ห้องควบคุมอุณหภูมิ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 2.6 ภาพห้องควบคุมอุณหภูมิ และอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง
(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

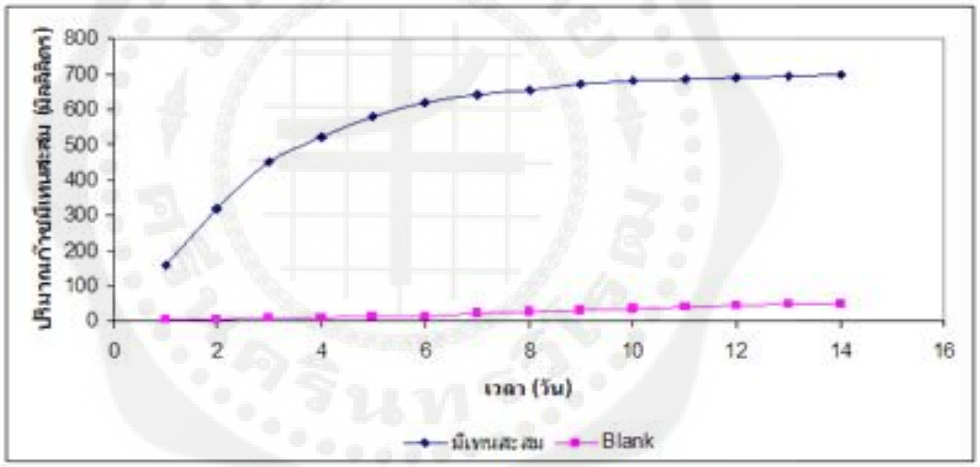
2.3.2 ขั้นตอนการทำ BMP TEST

ปริมาณวัสดุหมักร่วมต่อวัสดุหมักหลักที่ได้จากการคำนวณ อาจเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนที่ทำการศึกษา และคุณสมบัติของของเสีย โดยปริมาณของวัสดุหมักคำนวณจากตารางคำนวณที่ โดยกรอกค่าของแข็งระเหยของวัสดุหมักลงในช่องสีเหลือง แล้วจะได้ปริมาณที่ต้องใส่ลงในขวดปริมาตรเป็นตัวหนังสือสีน้ำเงิน นำวัสดุหมักร่วมปริมาณที่คำนวณได้มาทดลองหาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ ในขวดปริมาตร 1000 มิลลิลิตร (ปริมาตรการหมัก 800 มิลลิลิตร) และเติมเชื้อตั้งต้นปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรการหมักด้วยน้ำกลั่นจนครบ 800 มิลลิลิตร และเติมNaHCO3 ในปริมาณ 2.4 กรัม และปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-7.2 ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริคความเข้มข้ม 2 นอร์มัล จากนั้นทำการไล่ก๊าซออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99% เป็นเวลา 3 นาทีก่อนปิดขวดทดลอง แล้วจึงนำไปต่อเข้ากับอุปกรณ์ชุดเขย่า และอุปกรณ์วัดก๊าซมีเทนตามลำดับ จากนั้นก็เปิดชุดเขย่าให้ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งถูกควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 372 องศาเซลเซียสและทำการวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทุกวัน จนสิ้นสุดปฏิกิริยา คือมีก๊าซเกิดขึ้น 5 มิลลิลิตรต่อวัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการวัดค่าพีเอชทันที เนื่องจากถ้าทิ้งไว้นานๆ จะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออกไป อาจทำให้ค่าพีเอชคลาดเคลื่อนได้ (มีค่าสูงขึ้น) จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ค่าซีโอดีทั้งหมด, ค่าซีโอดีกรอง, กรดไขมันระเหยง่าย, ความเป็นด่าง และปริมาณของแข็งในรูปต่างๆ

2.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองสามารถนำมาวิเคราะห์หาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของของเสียแต่ละชนิดตามอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยอาศัยปริมาณก๊าซมีเทนที่วัดได้แต่ละวัน นำมาพล็อตกราฟแสดงปริมาณก๊าซมีเทนสะสมตามระยะเวลาที่ทำการทดลอง และนำค่าปริมาณก๊าซมีเทนสะสมทั้งหมด ลบปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่เกิดจากเชื้อตั้งต้นเพียงอย่างเดียว เพื่อนำปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจริงมาคำนวณหาค่า Total Specific Methane Yield ของของเสียในรูปของ Volatile Solid ที่ป้อนเข้าระบบ ซึ่งผลการวิเคราะห์ส่วนผสมในขวดทดลองเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง เป็นค่าที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Biochemical Methane Potential (BMP)} = \frac{\text{ปริมาณของก๊าซมีเทนสะสมทั้งหมด (มล.)}}{\text{กรัมของ Volatile Solid ที่ป้อนเข้า}}$$



ตัวอย่างการสร้างกราฟปริมาณก๊าซมีเทนสะสม

รูปที่ 2.7 สูตรและตัวอย่างการสร้างกราฟปริมาณก๊าซมีเทนสะสม
(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ ทำ ให้ทราบถึงปริมาณมีเทนสูงสุดที่สามารถผลิตได้ และประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบ การศึกษาครั้งนี้จะทำการประเมินความเป็นไปได้ของของเสียแต่ละอัตราส่วนที่สามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักย่อยเฉพาะน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียวของแต่ละภูมิภาคในประเทศไทย อย่างไรก็ตามการจะออกแบบระบบก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมกับการนำไปใช้จริงจะต้องทำการทดลองด้วยการ

เดินระบบแบบต่อเนื่องจุดประสงค์ก็เพื่อหาอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์หรือระยะเวลาในการหมักย่อยที่เหมาะสม ปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ รวมทั้งพลังงานที่ต้องการภายในระบบเพื่อการวิเคราะห์หาระยะเวลาในการคืนทุนต่อไป

2.4 ตัวอย่างโรงผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก

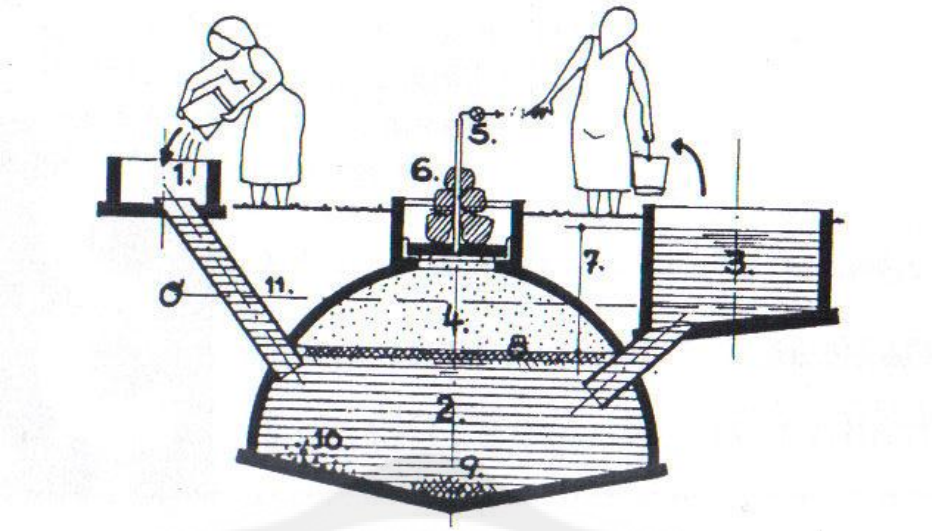
ถังผลิตก๊าซชีวภาพชนิดนี้จะเป็นที่เก็บก๊าซแบบที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 16 ลบ.ม. ถึง 30 ลบ.ม. หรือมีขนาดตามขนาดของฟาร์ม เมื่อมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นจะดันสารข้นเหลวภายในถังย่อยสลายออกมาทางท่อออก ซึ่งจะต้องสร้างถังสำรองเอาไว้ เมื่อก๊าซชีวภาพมากขึ้นความดันก๊าซเพิ่มขึ้น ถ้าต้องการให้มีความดันก๊าซคงที่ (เช่นเมื่อนำมาใช้ในการปั่นเครื่องจักรต่างๆ ทำให้จำเป็นต้องมีที่เก็บก๊าซขนาดใหญ่ด้วย) ควรจะติดตั้งเครื่องวัดความดันไว้ด้วยเพื่อตรวจสอบความดันภายในถังหมักก๊าซชีวภาพ ดังรูปที่ 2.5-2.7 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

ข้อดี ราคางานก่อสร้างต่ำ แรงงานในท้องถิ่นสามารถสร้างได้เอง มีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี ไม่ต้องกังวลเรื่องอากาศเย็น เนื่องจากโครงสร้างอยู่ใต้ดิน

ข้อเสีย มักเกิดการรั่วซึมของก๊าซ ความดันไม่สม่ำเสมอบางครั้งมักจะสูงเกินไป ยากต่อการดูแลรักษา อุณหภูมิย่อยสลายต่ำ

รูปที่ 2.8 แผนผังบ่อก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 2.9 บ่อหมักก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของบ่อก๊าซชีวภาพ
(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

1. ถังเติมมูลและท่อเข้า
2. ถังหมัก
3. ถังมูลออก
4. ที่กักก๊าซ = ความดันก๊าซ (ซม.น้ำ)
5. ท่อก๊าซ
6. ฝากันรั่วและน้ำหนักถ่วง
7. ความต่างระดับ
8. กากแขวนลอยเหนือสารข้นเหลว
9. ตะกอนหมัก
10. เศษของแข็ง
11. ระดับ 0 เมื่อไม่มีความดันก๊าซ

2.5 ชนิดและแบบของบ่อก๊าซชีวภาพ (Biogas Plant)

บ่อก๊าซชีวภาพ แบ่งตามลักษณะการทำงาน ลักษณะของของเสียที่เป็นวัตถุดิบ และประสิทธิภาพการทำงานได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ดังนี้

2.5.1 บ่อหมักช้าหรือบ่อหมักของแข็ง

บ่อหมักช้าที่มีการสร้างใช้ประโยชน์กันและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป มี 3 แบบคือ

- แบบยอดโดม (fixed dome digester)
- แบบพลาสติกคลุมราง (plastic covered ditch) หรือแบบปลั๊กโฟลว์ (plug flow digester)
- แบบไฮฟี (HIPHI)

(1) แบบยอดโดม (fixed dome digester)

รูปที่ 2.11 บ่อก๊าซชีวภาพแบบยอดโดม (fixed dome digester)
(กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

ลักษณะโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นทรงกลมฝั่งอยู่ใต้ดิน ส่วนที่กักเก็บก๊าซมีลักษณะเป็นโดมแบบนี้ เหมาะสำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก มีข้อดีคือ ประหยัดพื้นที่บริเวณฟาร์ม ง่ายต่อการต่อรางระบาย มูลสุกรจากโรงเรือนไปสู่บ่อหมัก เนื่องจากตัวบ่อหมักจะฝั่งอยู่ใต้ดิน และดินที่อยู่รอบๆ บ่อหมักจะ ช่วยป้องกันการแตกร้าวของบ่ออันเนื่องจากแรงดันของก๊าซที่เกิดขึ้น และน้ำหนักน้ำ และมูลสัตว์ที่ เติมลงไปในบ่อได้และอุณหภูมิในบ่อหมักค่อนข้างคงที่ช่วยให้การหมักของมูลต่อเนื่องสำหรับ ข้อเสียของแบบนี้คือในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินสูงการทำงานและการสร้างบ่อจะค่อนข้างลำบาก

(2) แบบพลาสติกคลุมราง (Plastic covered ditch) หรือแบบปลั๊กโฟลว์ (Plug flow digester)

รูปที่ 2.12 บ่อก๊าซชีวภาพแบบปลั๊กโฟลว์ (Plug flow digester)
(กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูฝั่งในดิน ส่วนที่ใช้เก็บก๊าซจะใช้ผ้าพลาสติกที่เรียกว่า red-mud- plastic คลุมส่วนบนของบ่อหมักไว้ ข้อดีของบ่อแบบนี้ คือเนื่องจากลักษณะของบ่อเป็นแนว จึงทำให้ ระยะเวลาในการหมักมูลสุกรมากขึ้น ซึ่งถ้ามูลสุกรมีเวลาในการหมักนาน ก็จะทำให้ปริมาณก๊าซที่ เกิดขึ้นมีมากขึ้นด้วย และเนื่องจากส่วนที่เก็บกักก๊าซเป็นผ้าพลาสติก จึงทำให้ทราบได้ว่าปริมาณของ ก๊าซที่เกิดขึ้นมีมากน้อยเท่าไร

(3) แบบไฮฟี (HIPHI)

รูปที่ 2.1.3 บ่อก๊าซชีวภาพแบบไฮฟี (HYPHI)
(กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

ระบบการกำจัดของเสียแบบไฮฟี (HYPHI) ระบบนี้ออกแบบขึ้นมาเพื่อกำจัดของเสียจากฟาร์มสุกร ระดับกลางถึงระดับใหญ่หรือฟาร์มขนาดประมาณ ๑,๕๐๐ ตัว โดยเฉพาะ โดยกำจัดทิ้งของเสียที่ เป็นของแข็งได้แก่มูลสุกรและส่วนที่เป็นของเหลว ได้แก่ ปัสสาวะและน้ำล้างคอก ระบบนี้ออกแบบ มาเพื่อกำจัดของเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ คำว่า ไฮฟี(HYPHI) ย่อมาจากคำว่า Hybrid Plug - flow High- rate System ระบบนี้ประกอบด้วยถุงหมักตะกอนแบบหมักชา (Plug - flow) และถุงหมักของเสียเป็น น้ำแบบหมักเร็ว (High-rate) เข้าด้วย เพื่อทำให้ระบบการกำจัดของเสียดังกล่าวสามารถกำจัดของเสีย ที่เป็นน้ำได้ปริมาณมาก

2.5.2 บ่อหมักเร็วหรือบ่อบำบัดน้ำเสีย

แบ่งได้เป็น 2 แบบหลัก คือ

(1) แบบบรรจุตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) หรือแบบเอเอฟ (AF) ตัวกลางที่ทำได้จากวัสดุหลายชนิด เช่น ก้อนหิน กรวด พลาสติก เส้นใยสงเคราะห์ ไม้ไผ่ตัดเป็นท่อน เป็นต้น ในลักษณะของบ่อหมักเร็วแบบนี้ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนบนตัวกลาง ที่ถูก ตรึงอยู่กับที่ก๊าซถูกเก็บอยู่ภายในพลาสติกที่คลุมอยู่เหนือราง มักใช้ไม่แผ่นทึบเพื่อป้องกันแสงแดด และเพิ่มความดันก๊าซ

รูปที่ 2.14 บ่อหมักเร็วแบบบรรจุตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) และ แบบยูเอเอสบี (UASB)
(กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

(2) แบบยูเอเอสบี (UASB หรือ Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

บ่อหมักเร็วแบบนี้ แบคทีเรียจะรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอน ลักษณะการทำงานของบ่อหมักเกิดขึ้น โดย การควบคุมความเร็วของน้ำเสียให้ไหลเข้าบ่อหมักจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ตะกอนส่วนที่เบาจะ ลอยตัว ไปพร้อมกับน้ำเสียที่ไหลล้นออกนอกบ่อ ตะกอนส่วนที่หนักจะจมลงก้นบ่อ

2.6 การเปรียบเทียบพลังงานก๊าซชีวภาพกับพลังงานอื่นๆ โดยประมาณ

ตารางที่ 2.6 ก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม.เทียบเท่า

ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46 กิโลกรัม
น้ำมันเบนซิน	0.67 ลิตร
น้ำมันดีเซล	0.6 ลิตร
ไฟฟ้า	1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ตารางที่ 2.7 บ่อก๊าซชีวภาพขนาด 100 ลบ.ม. จะผลิตก๊าซชีวภาพได้ ประมาณวันละ 50 ลบ.ม.

เทียบเท่าก๊าซหุงต้ม (LPG)	ประมาณวันละ 23 กิโลกรัม
เทียบเท่าน้ำมันเบนซิน	ประมาณวันละ 33.50 ลิตร
เทียบเท่าน้ำมันดีเซล	ประมาณวันละ 30 ลิตร

ตารางที่ 2.8 แสดงต้นทุนการผลิตพลังงาน

ทดแทนก๊าซชีวภาพ	ในราคา 0.92 บาท/ลูกบาศก์เมตร
ทดแทน LPG	ในราคา 2.00 บาท/กิโลกรัม
ทดแทนไฟฟ้า	ในราคา 0.76 บาท/kWh

(ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวภาพ มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2545)

2.7 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

2.7.1 ด้านพลังงาน

เมื่อพิจารณาถึงด้านเศรษฐกิจแล้ว การลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจะลงทุนต่ำกว่าการผลิตเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น ๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม และไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถนำไปใช้ได้ดังนี้ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

1) ให้ค่าความร้อน 3,000-5,000 กิโลแคลอรี่ ความร้อนนี้จะทำให้น้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เดือดได้

2) ใช้กับตะเกียงขนาด 60-100 วัตต์ ลุกไหม้ได้ 5-6 ชั่วโมง

3) ผลิตกระแสไฟฟ้า 1.25 กิโลวัตต์

4) ใช้กับเครื่องยนต์ 2 แรงม้า ได้นาน 1 ชั่วโมง

5) ถ้าใช้กับครอบครัวขนาด 4 คน สามารถหุงต้มได้ 3 มื้อ

2.7.2 ด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อม

โดยการนำมูลสัตว์ และน้ำล้างคอกมาหมักในบ่อก๊าซชีวภาพ จะเป็นการช่วยกำจัดมูลในบริเวณที่เลี้ยง ทำให้กลิ่นเหม็นและแมลงวันในบริเวณนั้นลดลงและผลจากการหมักมูลสัตว์ ในบ่อก๊าซชีวภาพที่ ปราศจากออกซิเจนเป็นเวลานานๆ ทำให้ไข่พยาธิและเชื้อโรคส่วนใหญ่ในมูลสัตว์ตายด้วย ซึ่งเป็นการทำลายแหล่งเพาะเชื้อโรคบางชนิด เช่น โรคอหิวาตกโรค และพยาธิที่อาจแพร่กระจายจากมูลสัตว์ ด้วยกัน นอกจากนี้แล้วยังเป็นการป้องกันไม่ให้มูลสัตว์ถูกชะล้างลงไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

2.7.3 ด้านการเกษตร

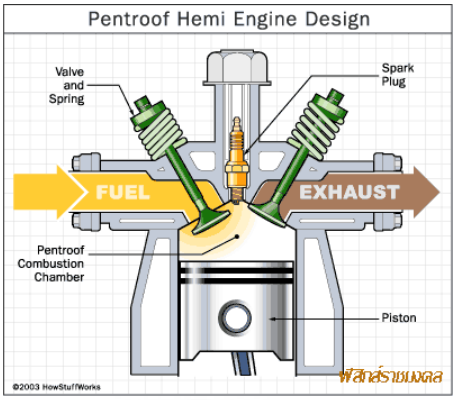
1) การทำเป็นปุ๋ย กากที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพเราสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่ามูลสัตว์สด ๆ และปุ๋ยคอก ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมัก จะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2) การทำเป็นอาหารสัตว์ โดยนำส่วนที่เหลือจากการหมัก นำไปตากแห้ง แล้วนำไปผสมเป็นอาหาร สัตว์ให้โคและสุกรกันได้ แต่ทั้งนี้มีข้อจำกัด คือ ควรใส่ อยู่ระหว่าง 5-10 กิโลกรัม ต่อส่วนผสม ทั้งหมด 100 กิโลกรัม จะทำให้สัตว์เจริญเติบโตตามปกติและเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

2.8 เครื่องยนต์

2.8.1 เครื่องยนต์สันดาปภายใน

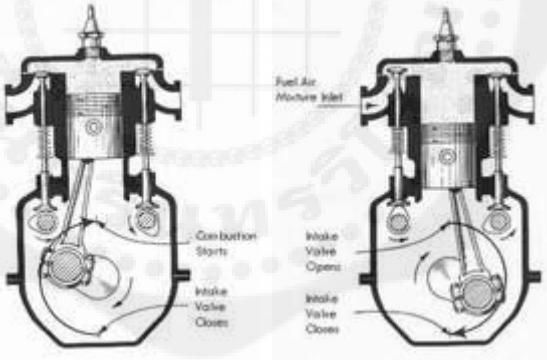
เครื่องยนต์สันดาปภายใน(Internal combustion engine) การเผาไหม้เกิดขึ้นในเครื่องยนต์มีอยู่หลายแบบ เช่น เครื่องยนต์เบนซินเครื่องยนต์โรตารี่และเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ แต่ละแบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ทั่วไป
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

2.8.2 เครื่องยนต์ 4 จังหวะ

เครื่องยนต์เผาไหม้แบบ 4 จังหวะ เรียกว่าเรียกว่า วัฏจักรออตโต มีจังหวะทำงานเป็น ดูด, อัด, ระเบิด, คาย ดังรูปที่ 2.16, 2.17

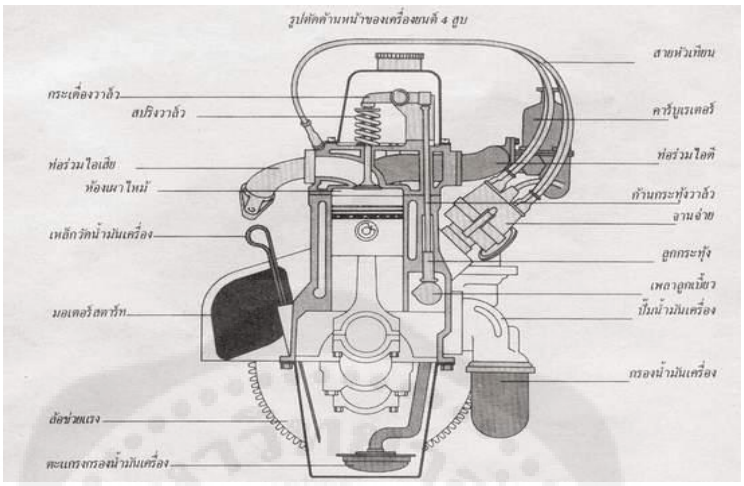


รูปที่ 2 16 หัวเทียน (Sparkplug) ใช้สำหรับจุดเชื้อเพลิงผสมให้เกิดการเผาไหม้
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

- วาวล์ (Valve) วาวล์ไอดี และ วาวล์ไอเสีย เปิดและปิดในจังหวะที่เหมาะสม เพื่อให้อากาศและเชื้อเพลิงถูกดูดเข้าและผลักออก ถ้าลูกสูบอยู่ในช่วงจังหวะระเบิดวาวล์ทั้งสองจะต้องปิดสนิท ห้ามมีการรั่วจึงต้องมีการซีลด์ที่จุดสัมผัสให้ดี

- ลูกสูบ (Piston) เป็นอุปกรณ์รูปทรงกระบอกเคลื่อนที่ขึ้นและลง ลูกสูบต้องสร้างจากวัสดุที่มีความแข็งแรงสามารถรับแรงกดดันจากความร้อนในห้องเผาไหม้ได้ เพื่อจะส่งกำลังผ่านก้าน

ลูกสูบไปที่ข้อเหวี่ยง โดยปกติลูกสูบทำจากโลหะผสมอลูมิเนียม ทำให้มีน้ำหนักเบา หน้าถัดไปเป็นชิ้นส่วนสำคัญของเครื่องยนต์



รูปที่ 2.17 ชิ้นส่วนสำคัญของเครื่องยนต์
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

- ฝาสูบ (CYLINDER) เป็นชิ้นส่วนที่ติดตั้งอยู่บนเสื้อสูบ ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของห้องเผาไหม้ และมีอุปกรณ์ลิ้นปิด-เปิดบนฝาสูบ และยังมีช่องหัวเทียน ดังนั้นฝาสูบจึงต้องมีความแข็งแรง และทนต่ออุณหภูมิจากการทำงานของเครื่องยนต์ได้ ด้วยเหตุนี้ฝาสูบจึงทำมาจากเหล็กหล่อหรือโลหะผสมอลูมิเนียม แต่ระยะหลังได้หันมาใช้อลูมิเนียมมากขึ้นเนื่องจากมีน้ำหนักเบาและยังระบายความร้อนได้ดีอีกด้วย

- เสื้อสูบ (CYLINDER BLOCK) เสื้อสูบเป็นชิ้นส่วนที่ใหญ่และมีน้ำหนักมากที่สุด เป็นที่ติดตั้งชิ้นส่วนต่างๆ ชิ้นส่วนที่ติดกับเสื้อสูบได้แก่กระบอกสูบหลาย ๆ ชุด ซึ่งมีลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นและลงอยู่ภายในเพลาข้อเหวี่ยง เพลาลูกเบี้ยว วาล์วจานจ่าย เป็นต้น ลักษณะของเสื้อสูบที่เรามักพบเห็นกันบ่อยจะเป็นแบบตัววีหรือแบบเรียงตัว

- ลูกสูบ (PISTON) เป็นชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวขึ้น-ลง อยู่ในกระบอกสูบลูกสูบนั้นจะต้องมีความแข็งแรงพอที่จะรับแรงกดดันและความร้อนที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ได้ หน้าที่ของลูกสูบก็คือ รับแรงกดดันจากการเผาไหม้และ ส่งกำลังนี้ไปสู่เพลาข้อเหวี่ยงโดยผ่านก้านสูบ

- แหวนลูกสูบ (PISTON RING) แหวนลูกสูบนั้นเป็นตัวป้องกันไม่ให้กำลังอัดรั่ว ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

- แหวนอัด (COMPRESSION) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้กำลังอัดรั่วผ่านช่องว่างรอบๆลูกสูบ

- แหวนน้ำมัน (OIL RING) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำมันที่หล่อเลี้ยงลูกสูบกับกระบอกสูบให้อยู่ในปริมาณที่พอดี

- ก้านสูบ (CONNECTING ROD) ก้านสูบนั้นจะทำด้วยเหล็กผสม หรือ เหล็กหล่อเหนียว หรือ อลูมิเนียมผสม เพื่อให้แข็งแรงไม่ยืดหดตัว น้ำหนักเบา ก้านสูบนั้นจะทำหน้าที่ต่อลูกสูบกับเพลาข้อเหวี่ยง โดยที่ปลายด้านเล็กนั้นจะยึดติดกับสลักลูกสูบ และปลายด้านใหญ่จะยึดติดกับเพลาข้อเหวี่ยงและจะส่งกำลังไปยังข้อเหวี่ยง

- เพลาข้อเหวี่ยง (CRANKSHAFT) เพลาข้อเหวี่ยงเป็นชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว โดยรับพลังงานมาจากห้องเผาไหม้ซึ่งเปลี่ยนจากการขึ้น-ลงของลูกสูบมาเป็นการหมุนแทน

ประเก็น (GASKET) เป็นตัวคั่นกลางระหว่างหน้าสัมผัสของโลหะเพื่อป้องกันการรั่ว ซึ่งส่วนใหญ่ที่รู้จักกันก็จะมี ประเก็นฝาสูบ, ประเก็นอ่างน้ำมันเครื่อง เป็นต้น

2.8.3 ระบบจุดระเบิด (Ignition system)

แบตเตอรี่ของรถยนต์ ให้กระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่ำ สำหรับระบบจุดระเบิด ดังนั้นจึงต้องให้กระแสไหลเข้าสู่ขดลวดหรือคอยส์ (Coil) ซึ่งทำหน้าที่เหมือนหม้อแปลง โดยจะเพิ่มความต่างศักย์ขึ้นเป็นหลายพันโวลต์ จากนั้นจานจ่าย (Distributor) จะส่งกระแสที่มีความต่างศักย์สูงไปยังกระบอกสูบแต่ละอัน กระแสนี้ทำให้เกิดประกายไฟขึ้นที่หัวเทียน (Spark Plug) ซึ่งจะจุดระเบิดน้ำมันในกระบอกสูบ

2.8.4 ระบบระบายความร้อน (Cooling system)

ประกอบด้วย หม้อน้ำ (Radiator) และปั๊มน้ำ น้ำจะถูกปั๊มอัดให้ไหลผ่านไปตามส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ และไหลกลับมาระบายความร้อนที่หม้อน้ำ การระบายความร้อนใช้กับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ ส่วนเครื่องยนต์ขนาดเล็กใช้อากาศช่วยระบายความร้อน เช่นมอเตอร์ไซด์และเครื่องตัดหญ้า การระบายความร้อนด้วยอากาศมีข้อดีอยู่เหมือนกัน คือ เครื่องยนต์มีขนาดเบา แต่ข้อเสียคือ ความร้อนค่อนข้างสูง ทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้น และประสิทธิภาพต่ำ

2.8.5 ระบบไอดี (Air Intake System)

อากาศต้องไหลผ่านไส้กรองอากาศ ก่อนเข้าไปในกระบอกสูบ ดังนั้นจึงเกิดแรงเสียดทานขึ้น กำลังของเครื่องยนต์ตกลงได้ถ้าไส้กรองอุดตัน การเพิ่มกำลังของเครื่องยนต์ให้สูงขึ้น มีอีกวิธีหนึ่งคือเพิ่มแรงดันให้กับอากาศ โดยอุปกรณ์ที่ใช้คือ เทอร์โบชาร์จ (Turbocharge) หรือ ซุปเปอร์ชาร์จ (Supercharge) ซึ่งช่วยอัดอากาศก่อนที่จะไหลเข้าไปในกระบอกสูบ นั่นหมายความว่าส่วนผสมของเชื้อเพลิงจะเข้าไปในกระบอกสูบได้มากขึ้นส่วนความแตกต่างของอุปกรณ์ทั้งสองคือ

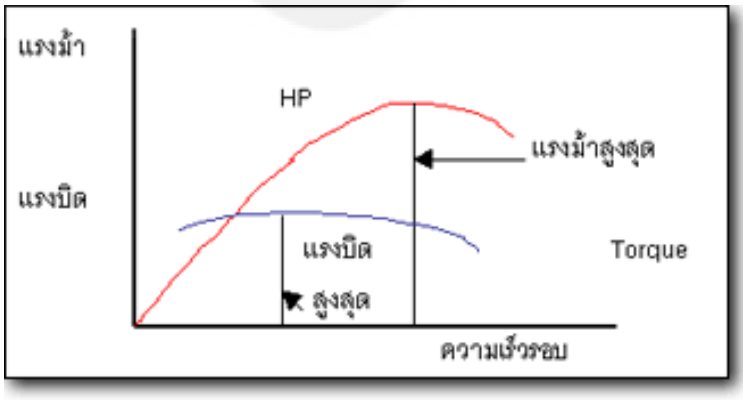
เทอร์โบชาร์จใช้ไอเสียของรถยนต์เป็นตัวขับเคลื่อน ส่วนซุปเปอร์ชาร์จใช้กำลังจากเครื่องยนต์โดยตรงขับเคลื่อน

2.8.6 แรงม้าและแรงบิด

แรงม้า คือ หน่วยอันหนึ่งสำหรับใช้วัดกำลังของเครื่องยนต์ หน่วยวัดกำลังที่นิยมใช้กัน เช่น แรงม้า (HP) และ กิโลวัตต์ (KW) นอกจากนี้ในบางครั้งเราจะเห็นตัวย่อ BHP ซึ่งย่อมาจาก Brake Horse Power หมายถึง กำลังของเครื่องยนต์ที่ได้รับจากเพลาเครื่องซึ่งเท่ากับกำลังที่เครื่องยนต์ผลิตได้หักออกด้วยแรงเสียดทานภายเครื่องยนต์ ดัง สูตร BHP = IHP - FHP โดยที่ IHP คือ Indicated Horse Power หมายถึงกำลังที่เครื่องยนต์ผลิตได้ และ FHP คือ Friction Horse Power ซึ่งหมายถึงแรงเสียดทานภายในเครื่องยนต์

กำลังของเครื่องยนต์สามารถคำนวณได้จากสูตร HP = K x Torque x RPM โดยที่ K คือค่าคงที่ T_t คือแรงบิด และ RPM คือความเร็วรอบของเครื่องยนต์ แรงม้าสูงสุดของเครื่องยนต์แต่ละรุ่นแต่ละแบบจะอยู่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์แตกต่างกันไปแล้วแต่การออกแบบของผู้ผลิต แล้วแรงม้าเห็นกันในหนังสือ หรือใน specification ต่างๆ นั้นเป็น BHP หรือ IHP คำตอบน่าจะเป็น BHP เพราะเป็นแรงม้าที่ได้มาจากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

แรงบิด คือ แรงหมุนของเพลาเครื่องยนต์เป็นแรงที่ใช้เพื่อส่งกำลังของเครื่องยนต์ไปหมุนเกียร์ เพลา และ ล้อรถ เพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปได้ แรงบิดจะมีค่าแตกต่างกันไปที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ซึ่ง ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิตว่าต้องการให้มีแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ ปานกลางหรือสูง รถที่ใช้เครื่องยนต์ที่มีแรงบิดสูงก็จะมีอัตราเร่งดีกว่ารถที่ใช้เครื่องยนต์ที่มีแรงบิดต่ำกว่า ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงแรงม้าและแรงบิดของเครื่องยนต์
(สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ส.ผ.))

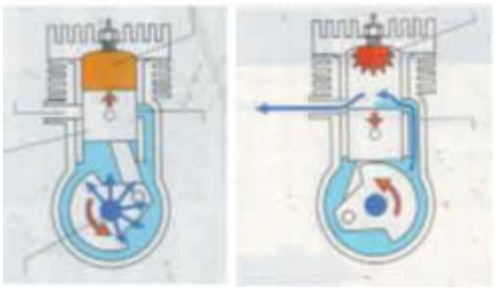
จากรูป 2.18 เป็นกราฟแสดงแรงม้าและแรงบิดของเครื่องยนต์ แรงม้าสูงสุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วรอบที่มี แรงบิดสูงสุดเสมอจากที่แรงบิดของเครื่องยนต์จะแสดงถึงอัตราเร่งแรงม้าของเครื่องยนต์ก็จะแสดงถึงความเร็วสูงสุดของรถ

2.8.7 เครื่องยนต์ 2 จังหวะ

เครื่องยนต์ชนิด 2 จังหวะ ถูกออกแบบมาไม่เหมือนกับเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะคือเครื่องยนต์ 4 จังหวะจะใช้วาล์ว ไอดี และวาล์วไอเสีย เป็นกลไก ในการจ่ายไอดี และไอเสียสลับกัน แต่เครื่อง 2 จังหวะ ถูกออกแบบให้มีช่องไอดี และไอเสีย อยู่ที่กระบอกสูบ ซึ่งช่องนี้ จะเปิด หรือปิดได้ อยู่ที่การเคลื่อนที่ของตัวลูกสูบ เท่ากับว่าลูกสูบ ทำหน้าที่เป็นวาล์วไปในตัว

รูปที่ 2.19 จังหวะดูด และอัด
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

เป็นจังหวะที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายล่าง ขึ้นสู่ศูนย์ตายบน ระหว่างการเคลื่อนที่นี้เองด้านบนลูกสูบคือการอัดอากาศไอดี ในขณะเดียวกัน ช่องไอเสีย จะถูกปิดด้วยตัวลูกสูบ โดยอัตโนมัติ โดยที่เวลาเดียวกันนี้เอง ความสูงของลูกสูบก็พ้นช่องไอดีออกไป ทำให้อากาศไอดี ไหลเข้าสู่ห้องเพลาข้อเหวี่ยง โดยอัตโนมัติ เช่นกัน ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.20 จังหวะกำลัง และ จังหวะคาย
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นไปสู่ศูนย์ตายบน ก็จะเกิดประกายไฟจากหัวเทียนทำให้เกิดระเบิด เพื่อดันลูกสูบลงไปสู่ศูนย์ตายล่าง อีกครั้ง ในระหว่างการเคลื่อนที่ลงครั้งนี้ ความสูงของลูกสูบ ก็จะไปปิดช่องอากาศทางเข้าไอดี และด้านบนของลูกสูบก็จะพ้นช่อง ทางออกของไอเสีย ทำให้อากาศไอเสียไหลผ่านออกไป ในขณะเดียวกันนี้เองที่ด้านบนของลูกสูบก็จะพ้นช่องไหลเข้าของไอดี ที่มาจากห้องเพลาข้อเหวี่ยง เข้าไปแทนที่ ดังรูปที่ 2.20

2.8.8 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

η_{th} = งานที่ได้ออกมา / พลังงานความร้อน

นั่นคือ $\eta_{th} = W/Q_A = (Q_A - Q_R)/Q_A$ (2-16)

$= 1-(Q_R - Q_A) = 1-[mC_V(T_4 - T_1)/mC_V(T_3 - T_2)]$

$= 1-(T_4 - T_1)/(T_3 - T_2)$

ในที่นี่ m = มวลของอากาศทั้งหมดในกระบอกสูบ

C_V = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศที่ปริมาตรคงที่

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

ให้อัตราส่วนการอัด $R = (V_1/V_2)$ = compression ratio

$V_1 = V_4 \;;\; V_2 = V_3$

$(V_1/V_2) = (V_4/V_3)$

$T_2/T_1 = (V_1/V_2)^{K-1}$

$T_2 = T_1(V_1/V_2)^{K-1} = T_1 R^{k-1}$

$T_3/T_4 = (V_4/V_3)^{K-1}$

$$T_3 = T_4 (V_4/V_3)^{K-1} = T_4 R^{k-1}$$

แทนค่า T_2 และ T_3 จะได้

$$\eta_{th} = 1 - [(T_4 - T_1)/(T_4 R^{k-1} - T_1 {}^{k-1})]$$

$$= 1 - [(T_4 - T_1)/(T_4 - T_1)R^{k-1}]$$

$$= 1-(1/R^{k-1}) \qquad (2\text{-}17)$$

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของวัฏจักรออตโตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการอัด (R) กล่าวคือ ถ้าอัตราส่วนการอัดสูงขึ้น ประสิทธิภาพก็สูงขึ้น แต่ในทางปฏิบัติหากอัตราส่วนการอัดสูงเกินไปก็จะทำให้เกิดการเคาะหรือน๊อค (Knock) ขึ้นในกระบอกสูบการเคาะทำให้เสียกำลังและอาจทำความเสียหายให้แก่เครื่องยนต์ได้ เราอาจลดการเคาะได้ด้วยการเพิ่มอ๊อคเทนนัมเบอร์ (Octane number) ของน้ำมันให้สูงขึ้น แต่ยังมีข้อจำกัดอยู่อีกมาก

2.8.9 กำลังเพลา (Brake Power หรือ Power)

เรียกอีกชื่อหนึ่งว่ากำลังเบรก เป็นกำลังหรือ Output power ของเครื่องยนต์ที่จะนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งวัดได้ที่เพลาหมุนของบเครื่องยนต์โดยใช้ไดนาโมมิเตอร์ การคำนวณหาค่ากำลังเพลาอาศัยหลักการดังนี้

เราทราบแล้วว่า งาน = แรง X ระยะทาง (2-18)

ถ้าให้ F = แรงกระทำที่แขนของไดนาโมมิเตอร์

R = รัศมีของแขน, เมตร

ดังนั้นงานที่กระทำโดยเครื่องยนต์เมื่อหมุนไป 1 รอบ = F x 2 πr (2-10)

= 2πT นิวตัน – เมตร (หรือ จูล)

(ทั้งนี้เพราะ Fr = T_t = แรงบิดของเครื่องยนต์)

ถ้าเครื่องยนต์หมุนทำงานที่ n รอบ/นาที

งานที่กระทำ/นาที = $2\pi T_t$ n จูล/นาที

หรือ = $(2\pi T_t n)/60$ จูล/วินาที หรือวัตต์

= กำลังเพลา

หรือ = $(2\pi T_t n)/(60 \times 10^3)$ กิโลวัตต์

จะเห็นได้ว่า เมื่อเราสามารถวัดแรงบิดจากไดนาโมมิเตอร์เราก็สามารถคำนวณหาค่ากำลังเพลาได้โดยวิธีการข้างต้น

2.8.10 อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption)

เป็นค่าที่นิยมใช้ที่สุดสำหรับการกำหนดสมรรถนะด้านการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดยคิดเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อหน่วยกำลังที่ได้ออกมาซึ่งกำหนดไว้ดังนี้

sfc = ปริมาณน้ำมันที่ใช้ / กำลังเพลา (ลิตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง) (2-19)

ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นก๊าซ หน่วยของปริมาณเชื้อเพลิงอาจใช้เป็น เมตร ^{3} /วินาทีหรือใช้หน่วยย่อยอื่นๆ ที่เทียบเท่าตามความเหมาะสม

2.8.11 กำลังเทียบเท่าจากเชื้อเพลิง (Fuel Equivalent Power)

เมื่อทราบอัตราการใช้เชื้อเพลิง เราสามารถคำนวณหากำลังหรือพลังงานทางความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง ดังนี้

$$FEP = m \times CV \quad (2\text{-}20)$$

เมื่อ FEP = กำลังเทียบจากเชื้อเพลิง,วัตต์

$\dot{m}$ = อัตราการไหลของเชื้อเพลิง,ลิตร/วินาที

CV = ค่า calorific value ของน้ำมันเชื้อเพลิง,จูล/ลิตร

OVER ALL EFFICIENCY : พลังงานไฟฟ้า(กิโลวัตต์)/พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง(กิโลจูล/วินาที)

2.9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

2.9.1 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

สูตรคำนวณ จุดคุ้มทุน หรือวิธีคิด B.E.P.

ในการทำธุรกิจ สิ่งที่สำคัญที่สุดเหนือกว่าความอยากทำทั้งปวงคือการที่ธุรกิจประสบผลกำไร หรือพูดง่ายๆ ว่าไม่ขาดทุน และได้มากกว่าที่ลงทุนไป ปัญหาคือในการเริ่มต้นทำธุรกิจใหม่ๆ นั้น ถ้ายังมีประสบการณ์ไม่มาก ผู้ประกอบการมักคาดการณ์ได้ลำบาก ว่าธุรกิจที่ตนเองทำจะคุ้มทุนหรือไม่ และคืนทุนเมื่อไร กล่าวคือ ไม่ทราบว่าจะคิดคำนวณจุดคุ้มทุนออกมาอย่างไร และการใช้ความรู้สึกในการตอบคำถามนี้ ก็ไม่ได้ช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นสักเท่าไร ดังนั้นการทำให้ออกมาเป็นตัวเลขจะช่วยให้การตัดสินใจง่ายขึ้นเยอะ จากการตอบคำถามสองข้อด้านล่างนี้ (อดิศร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา. คณะพัฒนาการเศรษฐกิจ. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์)

ต้องขายเท่าไหร่จึงจะคุ้มทุน คำตอบคือ ปริมาณชิ้นของสินค้าที่ต้องขาย (จำนวนครั้งของบริการที่ต้องทำ)

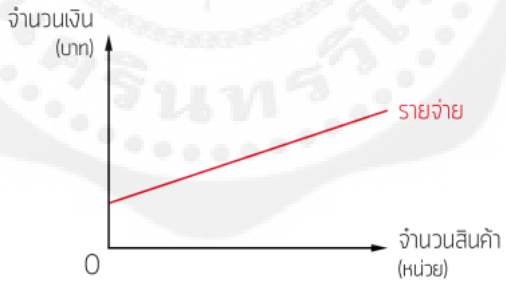
ต้องใช้เวลาแค่ไหนจึงจะคุ้มทุน คำตอบคือ ระยะเวลาที่จะขายสินค้า(บริการ) ให้ได้เท่ากับจำนวนที่จะคุ้มทุน

แต่ก่อนที่เราจะไปหาคำตอบมาเพื่อตอบคำถามทั้งสองข้อด้านบนยังมีตัวแปรที่เราต้องรู้จักเบื้องต้นสองตัว ได้แก่

รายจ่ายทั้งหมด (Total Cost) คือ ต้นทุน ประกอบด้วยรายจ่ายคงที่ (Fix Cost) เช่น ค่าเช่าที่ และรายจ่ายแปรผันต่อชิ้นสินค้า (Variable Cost) เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าจ้าง ค่าไฟ เราจะหารเฉลี่ยออกมาเป็นต่อชิ้นสินค้า แล้วคูณด้วยจำนวนชิ้นที่ผลิต

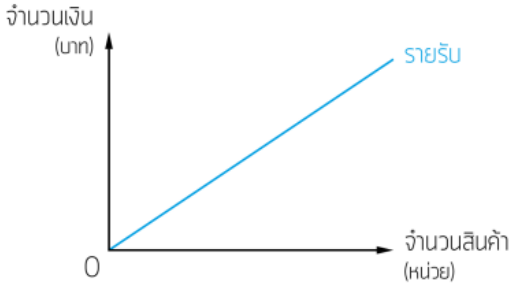
รายรับทั้งหมด (Total Revenue) คือ ปริมาณขาย (Quantity) คูณด้วยราคา (Price)

สามารถอธิบายโดยใช้กราฟก็ได้ โดยความสัมพันธ์นี้จะเกี่ยวข้องกับกราฟเส้นตรงสองเส้น เส้นหนึ่งคือกราฟรายจ่าย ส่วนอีกสั้นหนึ่งคือกราฟรายรับ มาดูที่กราฟรายจ่ายก่อน เพราะทุกครั้งที่เริ่มต้นธุรกิจรายจ่ายเกิดขึ้นก่อนรายรับเสมอ จากกราฟจะประกอบไปด้วยแกนตั้งแสดงจำนวนเงิน ส่วนแกนนอนจะแสดงปริมาณสินค้า ความชันของกราฟเป็นบวกตรงตามหลักความจริงว่า ยิ่งเราผลิตสินค้ามากขึ้น รายจ่ายเราก็มากขึ้นไปด้วย



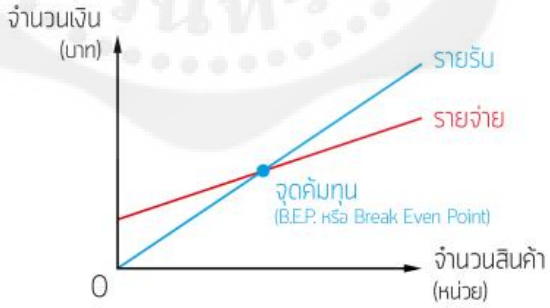
รูปที่ 21 กราฟแสดงรายจ่าย (B.E.P)

ส่วนอีกกราฟคือกราฟรายรับ หลังจากเริ่มขายสินค้าและบริการ ธุรกิจจะมีรายรับเข้ามา กราฟจะมีสองแกนเช่นเดียวกับกราฟรายจ่ายคือแกนตั้งแสดงจำนวนเงิน และแกนนอนแสดงจำนวนชิ้นสินค้า กราฟของความชันเป็นบวกตามความเป็นจริงว่า ถ้าเราขายสินค้าได้มากขึ้น รายรับของเราก็มากขึ้นไปด้วย



รูปที่ 22 กราฟแสดงรายรับ (B.E.P.)

จุดคุ้มทุนคือจุดที่คนทำธุรกิจเท่าทุน ซึ่งก็คือมีรายจ่ายเท่ากับรายรับ ไม่ขาดทุนในขณะเดียวกันก็ไม่ได้กำไร เราสามารถหาจุดคุ้มทุนได้โดยการเอากราฟรายจ่ายกับกราฟรายรับมาซ้อนกัน ความชันของกราฟทั้งสองเส้นนั้นไม่เท่ากันเพราะเราต้องขายในราคาที่สูงกว่าต้นทุนเพื่อเอากำไรอยู่แล้ว ดังนั้นกราฟเส้นตรงทั้งสองเส้นจะมาตัดกันที่จุดๆ หนึ่งซึ่งคือจุดคุ้มทุน (Break Even Point หรือ B.E.P. คือ จุดคุ้มทุน) คำตอบอยู่บนกราฟเลย แต่ถ้าไม่อยากวาดกราฟก็คำนวณหาได้ วิธีการนั้นไม่ซับซ้อน



รูปที่ 23 กราฟแสดงจุดคุ้มทุน (B.E.P.)

หลักการคำนวณจุดคุ้มทุน (B.E.P.: Break Even Point)

จุดคุ้มทุน คือ รายรับ = รายจ่าย

รายรับ คือ ปริมาณขาย* x ราคา**

*ต่อไปจะแทนปริมาณขาย ด้วยตัวย่อ Q

**ต่อไปจะแทนราคา ด้วยตัวย่อ P

รายจ่าย คือ รายจ่ายคงที่ + รายจ่ายแปรผันต่อชิ้นคูณจำนวนชิ้นสินค้าที่ผลิต

ดังนั้นที่จะคุ้มทุนเมื่อ รายรับ = รายจ่าย

จะมีวิธีการคำนวณดังนี้ QP = รายจ่ายคงที่ + รายจ่ายผันแปร (2-21)

จากสมการความสัมพันธ์ข้างบนนี้ จะมีข้อมูลที่เราต้องรู้แน่นอนอยู่แล้ว คือ รายจ่ายคงที่และรายจ่ายผันแปรต่อชิ้น เรายังแบ่งการคิดออกได้เป็น 2 กรณี ตามความต้องการรู้ของเราดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 อยากรู้ว่าต้องขายกี่ชิ้นถึงจะคุ้มทุน กรณีนี้เราต้องมีราคาในใจแล้วว่าจะขายราคากี่บาท ต้องการหาปริมาณขาย

กรณีที่ 2 อยากรู้ว่าต้องการขายชิ้นละราคาเท่าไรถึงจะคุ้มทุน กรณีนี้จะใช้เมื่อเรามีสินค้าอยู่ในมือจำนวนที่แน่นอน รู้แล้วว่ามีของอยู่กี่ชิ้น แล้วอยากทราบว่าจะขายชิ้นละเท่าไรถึงคุ้มทุน มาดูตัวอย่างกันเลยดีกว่าเพื่อความเข้าใจจริงๆ แล้วเป็นเรื่องไม่ซับซ้อนเลย ใช้วิธีการคิดแบบสมการหนึ่งตัวแปรง่ายมากๆ แต่บอกอะไรกับเราได้เยอะ ช่วยเราตัดสินใจได้มาก

2.9.2 การวิเคราะห์โครงการ (Project analysis)

1.) มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ (Net Present Value ; NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ เป็นการวัดมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนและต้นทุนของโครงการ หรือ เป็นการหาผลต่างระหว่าง มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนรวม (PVB) และ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (PVC) ของโครงการ โดยคิดอัตราลดตามอัตราผลตอบแทนที่หน่วยธุรกิจต้องการหรืออัตราต้นทุนของเงินทุน มีสูตรใช้ในการคำนวณดังนี้

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (2\text{-}22)$$

โดย NPV = มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุของโครงการ

B_t = มูลค่าผลตอบแทนในปี ที่ t

C_t = มูลค่าของต้นทุนในปี ที่ t

i = อัตราคิดลด(Discount Rate) หรืออัตราดอกเบี้ย

t = ปี ของโครงการ คือปี ที่ 0,1,2,3,…,n โดย n คืออายุของโครงการ

หลักการตัดสินใจว่าโครงการมีความเหมาะสมหรือคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ คือค่าของ NPV ที่คำนวณได้จะต้องมีค่ามากกว่าศูนย์หรือมีค่าเป็นบวก กล่าวคือ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนรวมมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (PVB > PVC) โครงการดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะลงทุน

2)อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return ; IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการเป็นเกณฑ์การวิเคราะห์เพื่อหาอัตราผลตอบแทนภายในของเงินลงทุนในการเทียบกับอัตราดอกเบี้ยในท้องตลาด โดยคำนวณหาอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของ โครงการมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งอัตราส่วนลดดังกล่าวทำให้ผลประโยชน์ตอบแทนและต้นทุนที่จ่ายไปของโครงการที่ได้คิดลดเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้วเท่ากัน ซึ่งการคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทนภายในของโครงการมีสูตรในการคำนวณหาดังนี้

$$IRR = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^2} - \left[\sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^2} + C_0 \right] = 0 \qquad (2\text{-}23)$$

โดย IRR = อัตราผลตอบแทนในการลงทุน

r = อัตราคิดลด

C_t = ต้นทุนสุทธิของโครงการในปี ที่ t

C_a = ต้นทุนสุทธิของโครงการในปี ที่ 0

B_t = ผลตอบแทนสุทธิในปี ที่ t

T = ปี ของโครงการ คือ ปี ที่ 1,2,3,...,n

n = อายุของโครงการ (ปีที่ 0 คือ ปีที่มีการลงทุนเริ่มแรก (initial investment))

หลักในการตัดสินใจลงทุนในโครงการ โดยนำค่าที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดที่กำหนด ถ้าค่าที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุนโครงการนั้นคุ้มค่าที่จะลงทุน แต่หากค่าที่ได้ต่ำกว่าอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลด โครงการนั้นไม่คุ้มค่าที่จะลงทุน

3)อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio ; B/C Ratio)

อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน คือ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนรวม (PVB) หารด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (PVC) ผลตอบแทนจะเกิดขึ้นตลอดอายุของโครงการ ถึงแม้ว่าเมื่อการลงทุนโครงการผ่านพ้นไปแล้ว ในขณะที่ต้นทุนในการก่อสร้างจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงการลงทุนเท่านั้น ส่วนต้นทุนที่อยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาและการลงทุนทดแทนอุปกรณ์ที่เสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นตลอดช่วงอายุของโครงการ จากนั้นจึงนำเอากระแสผลตอบแทนและกระแสต้นทุนของโครงการที่ได้รับการปรับค่าไปตามเวลาหรือคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว นำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) ดังนี้

$$B/C\ Ratio = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t} + C_0} \quad (2\text{-}24)$$

โดย B/C Ratio = อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน

B_t = มูลค่าผลตอบแทนในปี ที่ t

C_t = ต้นทุนสุทธิของโครงการในปี ที่ t

C_a = ต้นทุนสุทธิของโครงการในปี ที่ 0

i = อัตราคิดลด หรืออัตราดอกเบี้ย

t = ปี ของโครงการ คือ ปี ที่ 1,2,3,...,n

n = อายุของโครงการ (ปี ที่ 0 คือ ปี ที่มีการลงทุนเริ่มแรก(initial - investment))

โดยอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนกับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ ซึ่งอัตราส่วนรายได้ต่อต้นทุน (Benefit- Cost Ratio ; B/C Ratio) ของโครงการที่เหมาะสมต่อการลงทุนต้องมากกว่า 1 หรืออย่างน้อยที่สุดต้องเท่ากับ 1

4)ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period Analysis)

ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ คือ ระยะเวลาหรือจำนวนปี การดำเนินงานที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิจากโครงการมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนพอดี วิธีการหาระยะคืนทุนหรือหาจำนวนปี ที่จะได้รับผลตอบแทนคุ้มกับเงินที่ลงทุน สามารถคำนวณได้ดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน(ปี) = เงินลงทุนเมื่อเริ่มโครงการ / ผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปี (2-25)

5)การตัดสินใจทุน (Investment Decision)

- การตัดสินใจลงทุน หมายถึง การตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือก โครงการลงทุนว่าควรลงทุนในโครงการใดจึงจะให้ผลตอบแทนตามความต้องการ โดยใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจทางการลงทุนที่คำนึงถึงค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทน (NPV) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) ตามรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งเกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการตัดสินใจทางการลงทุน จะทำให้ผู้วิเคราะห์โครงการลงทุนตัดสินได้ว่าควรลงทุนในโครงการนั้นๆหรือไม่ โดยปกติโครงการที่มีค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ ถือเป็นโครงการที่ควรลงทุนโดยพิจารณาจาก

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทน (NPV) มีค่ามากกว่าศูนย์ หรือมีค่าเป็นบวก จะแสดงว่าการลงทุนในโครงการนั้นได้ผลตอบแทนคุ้มกับการลงทุน เนื่องจากผลตอบแทนแก่เจ้าหนี้ระยะ

ยาวหรือหุ้นกู้คือดอกเบี้ยมีอัตราที่คงที่ NPV เป็นส่วนที่เป็นบวกของโครงการ จึงจะตกเป็นผลตอบแทนของเจ้าของ ดังนั้น เมื่อลงทุนในโครงการที่ NPV = 0 ส่วนของเจ้าของจะไม่เพิ่มขึ้น แต่การที่ธุรกิจมีโครงการลงทุนเพิ่มจะมีผลให้ขนาดของกิจการขยายตัวขึ้น

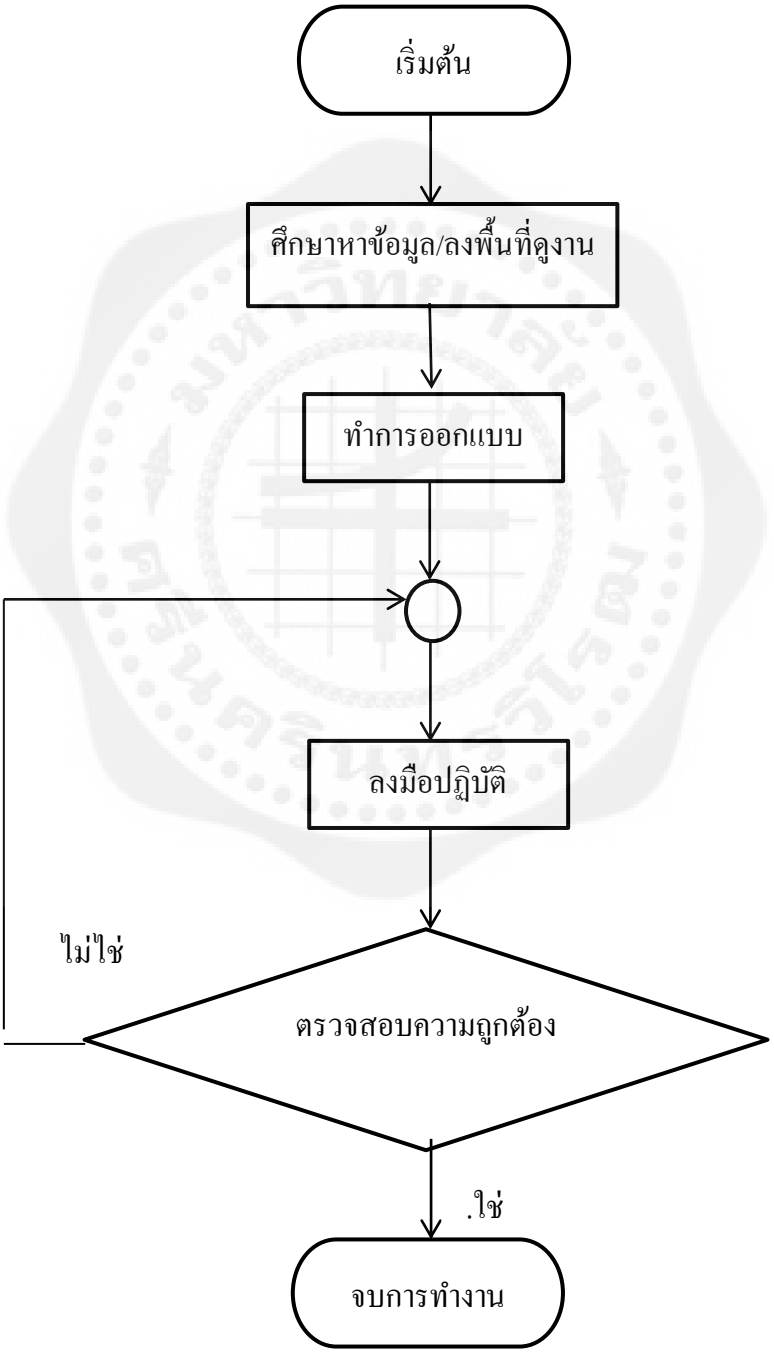
- อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) การตัดสินใจโดยการใช้วิธี IRR เนื่องจาก IRR ของโครงการใด คือ อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนในโครงการนั้น ถ้าอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) มีค่าสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำ หรือสูงกว่าต้นทุนของเงินทุนก็ควรลงทุน แต่ถ้าอัตราอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) มีค่าต่ำกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำหรือสูงกว่าต้นทุนของเงินทุน ก็ควรปฏิเสธโครงการลงทุน

- อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) การตัดสินใจพิจารณาเพื่อคัดเลือกโครงการที่เป็นอิสระทุกโครงการที่ให้ค่า B/C Ratio มีค่าเท่ากับ หรือมากกว่า 1 นั้น เป็นโครงการที่ดีควรจะลงทุน

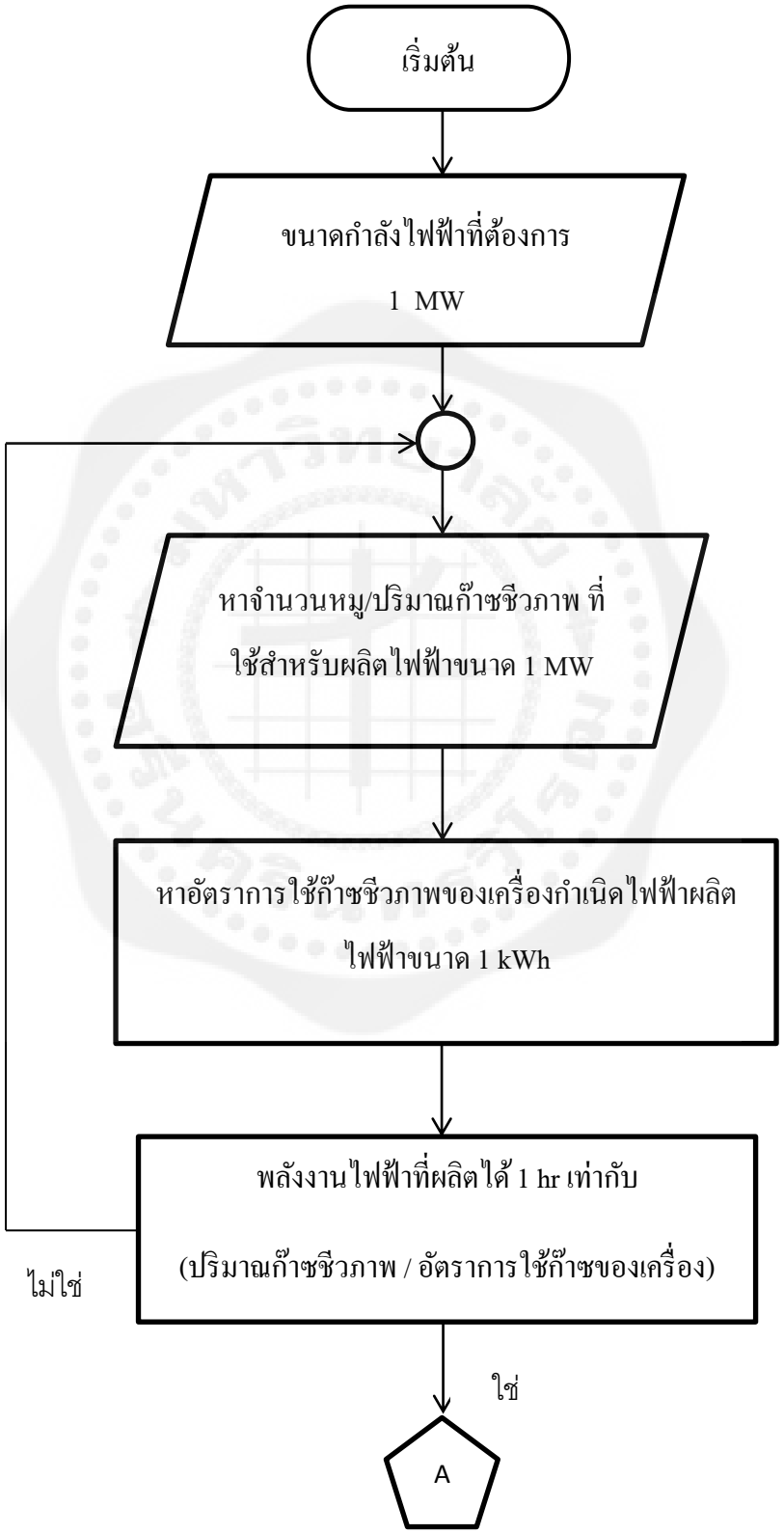
บทที่ 3

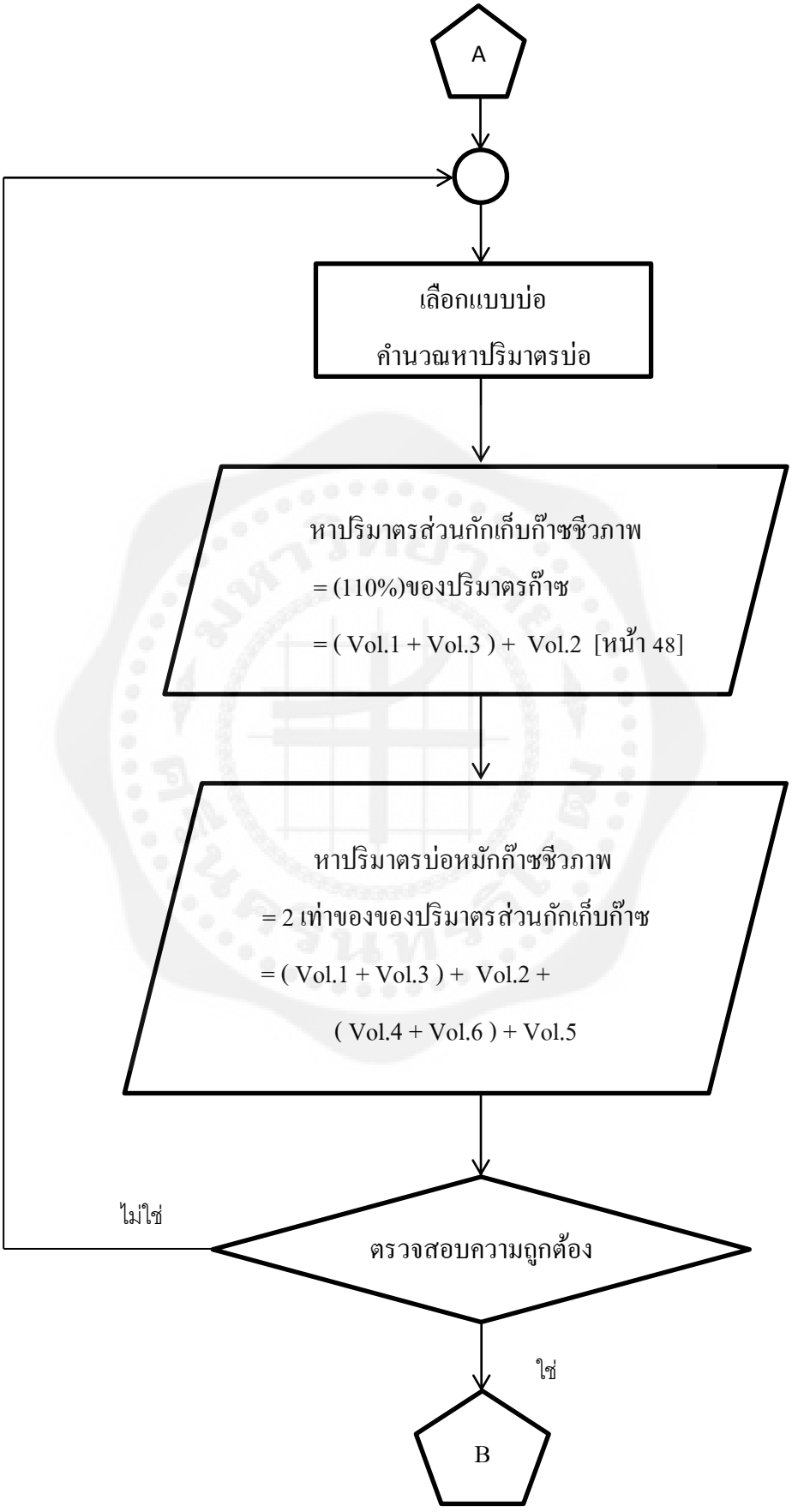
หลักการออกแบบ

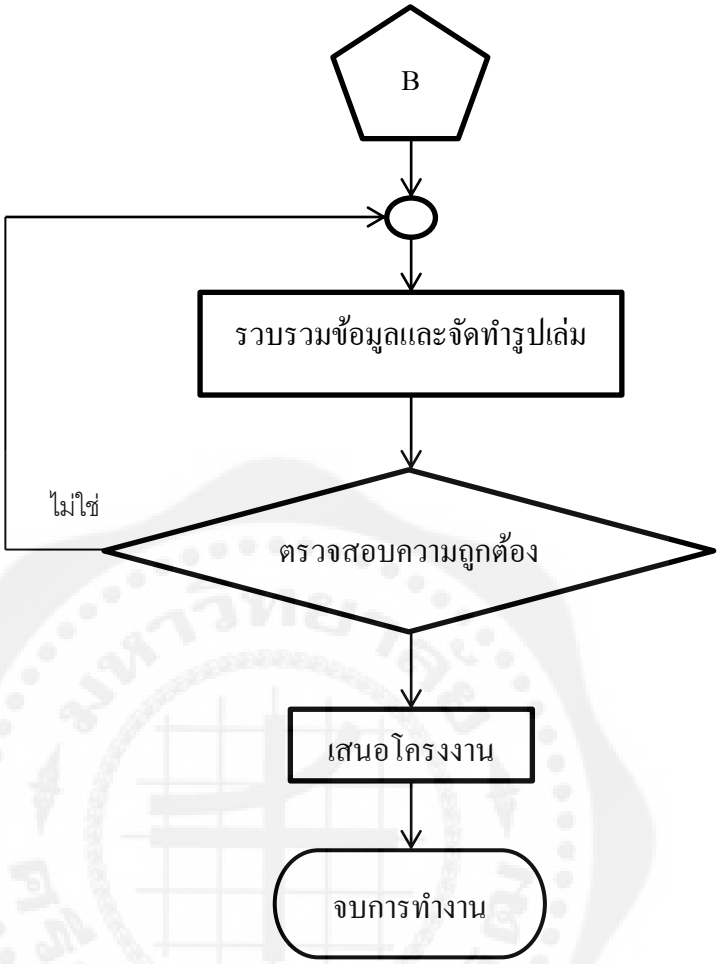
3.1 แผนการดำเนินงาน



3.2 ขั้นตอนการออกแบบ




A
เลือกแบบบ่อ
คำนวณหาปริมาตรบ่อ
หาปริมาตรส่วนกักเก็บก๊าซชีวภาพ
= (110%)ของปริมาตรก๊าซ
= (Vol.1 + Vol.3) + Vol.2 [หน้า 48]
หาปริมาตรบ่อหมักก๊าซชีวภาพ
= 2 เท่าของของปริมาตรส่วนกักเก็บก๊าซ
= (Vol.1 + Vol.3) + Vol.2 +
(Vol.4 + Vol.6) + Vol.5
ไม่ใช่
ตรวจสอบความถูกต้อง
ใช่
B

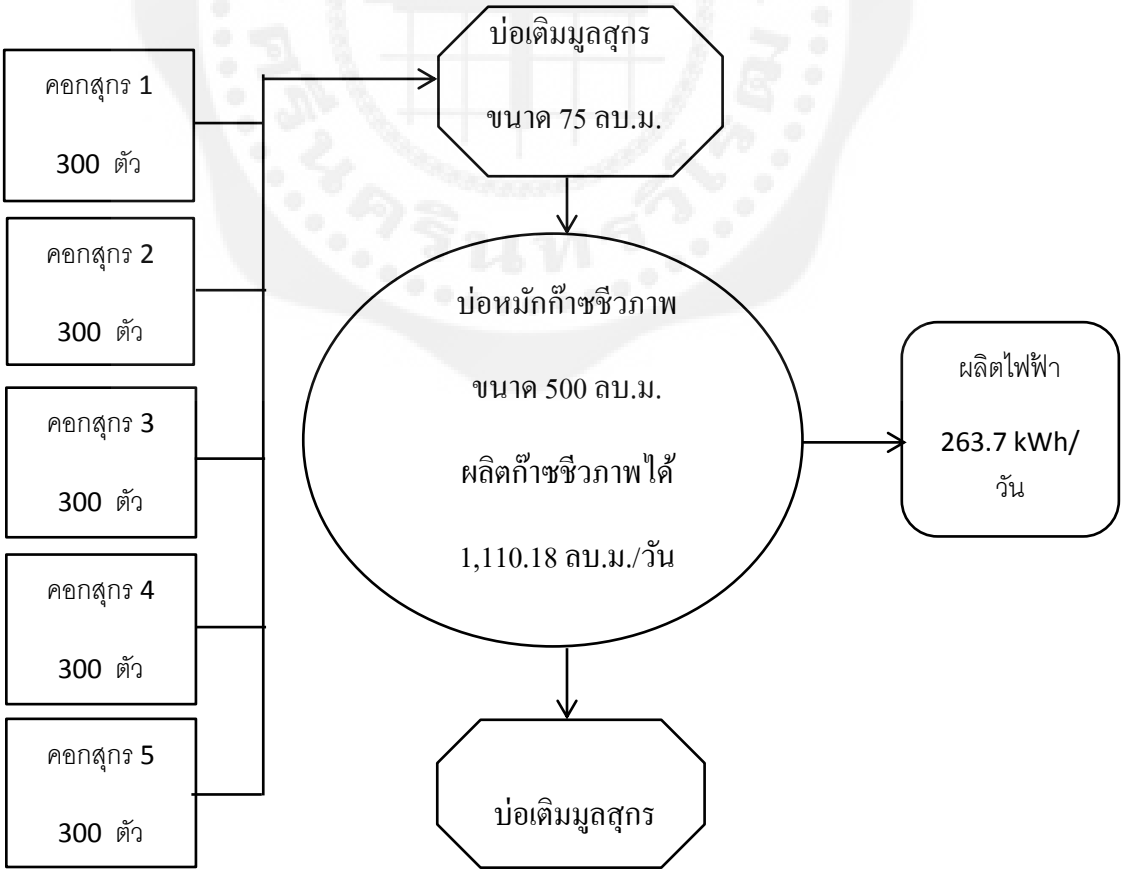

B
รวบรวมข้อมูลและจัดทำรูปเล่ม
ไม่ใช่
ตรวจสอบความถูกต้อง
เสนอโครงงาน
จบการทำงาน

บทที่ 4

ผลการออกแบบ

4.1 กรณีศึกษาดูงานข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร

จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของระบบก๊าซชีวภาพของ ฟาร์มสุกรหมู่บ้าน ต.น้ำผุด อ.เมือง จ.ตรัง จะทำแบบรวมของเสียจากฟาร์ม หรือจากคอกสุกรมารวมในบ่อพักเพื่อแยกสิ่งแปลกปลอม แล้วจึงดูดของเสียเข้าบ่อหมักซึ่งบ่อหมักของฟาร์มจะเป็นบ่อหมักแบบ MC – UASB ขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร ส่วนของเสียที่อยู่ก่อนจะถูกขับมายังบ่อล้นเพื่อนำเอาไปทำเป็นปุ๋ยชีวภาพ แล้วนำก๊าซชีวภาพที่ได้ลำเลียงผ่านท่อไปใช้ประโยชน์ ซึ่งสุกรที่มีอยู่ในฟาร์มตอนนี้ประมาณ 1500 ตัว โดยมีข้อมูลของเสียที่เกิดภายในฟาร์มดังนี้



ระบบก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรของฟาร์มชาวบ้าน ต.น้ำผุด อ.เมือง จ.ตรัง

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นภายในฟาร์ม

จำนวนสุกร 1500 ตัว	ปริมาณของเสีย / วัน	อัตราเฉลี่ย/ตัว/วัน
- มูลสด	1,635 กก.	(เฉลี่ย 1.09 กก./ตัว/วัน)
- ปัสสาวะ	3,765 ลิตร	(เฉลี่ย 2.51 ลิตร/ตัว/วัน)
- น้ำล้างคอก	22,635 ลิตร	(เฉลี่ย 15.09 ลิตร/ตัว/วัน)
รวม	28,035 ลิตร	

ซึ่งทำให้เกิดปริมาณของเสียโดยเฉลี่ย 18.69 ลิตร/ตัว/วัน โดยปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันจะขึ้นอยู่กับของเสียทั้งหมดต่อวัน และค่าสัมประสิทธิ์ในการเกิดก๊าซและอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรได้วันละ 1,110.18 ลบ.ม./วัน โดยทางชาวบ้านได้นำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องยนต์ที่มีขนาดสูบ 3,000 ซีซี ซึ่งมีความเร็วรอบ 1,470 rpm และเครื่องปั่นไฟ ให้กำลังไฟฟ้า 26.37 kW/HR โดยใช้ก๊าซชีวภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1,110.18 ลบ.ม./วัน ก๊าซที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับก๊าซที่ผลิตได้ทั้งหมดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยฟาร์มจะเดินเครื่องปั่นไฟเวลา 7.00 น. ถึง 17.00 น. เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ต่อวัน และเครื่องปั่นไฟให้พลังงานไฟฟ้า 26.37 kW/HR ดังนั้นปริมาณผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน คำนวณได้เท่ากับ

ปริมาณผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน = 10 × 26.37 kW/HR = 263.7 kWh/วัน

= 263.7 kWh/วัน × 3600 s = 949,320 kJ/day

ประสิทธิภาพจากการแปลงพลังงานความร้อนก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้า จะมีค่า เท่ากับพลังงานไฟฟ้าที่ได้ต่อพลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวภาพซึ่งจะเท่ากับ

$$= \frac{949{,}320\ kJ/day}{19{,}703{,}194.25\ kJ/day} \times 100\% \quad = 4.818\ \%$$

4.2 การออกแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW

จากกรณีศึกษาฟาร์มสุกรหมู่บ้าน ต.น้ำผุด อ.เมือง จ.ตรัง มีจำนวนสุกร 1,500 ตัว สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 26.37 kW/HR หรือ 263.7 kW/10 HR ในการออกแบบถ้าต้องการผลิตไฟฟ้าให้ได้ 10 MWh/วัน มีจำนวนสุกรประมาณ $\frac{1500\times1000}{26.37}$ = 56,883 ตัว

4.2.1 การคำนวณจำนวนสุกร

<u>กรณีการออกแบบฟาร์มสุกร A มีจำนวนสุกร 60,000 ตัว</u>

- คำนวณค่าความสามารถในการผลิตไฟฟ้า

สุกร 1 ตัว ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.24 ลบ.ม./วัน [จากภาคผนวก จ-4]

สุกร 60,000 ตัว ผลิตก๊าซชีวภาพได้ $60{,}000 \times 0.24 = 14{,}400$ ลบ.ม./วัน

เวลาในการผลิตก๊าซชีวภาพ 24 ชั่วโมง ได้ก๊าซชีวภาพปริมาณ เท่ากับ 14,400 ลบ.ม.

ก๊าซชีวภาพ CH_4 60% เท่ากับ $14{,}400 \times \frac{60}{100}$ = 8,640 ลบ.ม. เวลาในการผลิตก๊าซชีวภาพ 1 ชั่วโมง ได้ก๊าซชีวภาพปริมาณ $= \frac{8{,}640}{24} = 360$ ลบ.ม.

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีอัตราการใช้ก๊าซ 0.3 ลบ.ม. ผลิตไฟฟ้าได้ 1 kWh

ดังนั้นบ่อหมักผลิตก๊าซได้ 360 ลบ.ม/ชม. จะผลิตไฟฟ้าได้ $\frac{360\times1\ \text{kWh}}{0.3}$ = 1,200 kWh

ดังนั้น เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 ชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าได้ 1,200 kWh

เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 ชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าได้ 12,000 kWh

<u>กรณีการออกแบบฟาร์มสุกร B มีจำนวนสุกร 50,000 ตัว</u>

- คำนวณค่าความสามารถในการผลิตไฟฟ้า

สุกร 1 ตัว ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.24 ลบ.ม./วัน

สุกร 50,000 ตัว ผลิตก๊าซชีวภาพได้ $50{,}000 \times 0.24 = 12{,}000$ ลบ.ม./วัน

ระยะเวลาในการผลิตไฟฟ้าต่อวัน 10 ชั่วโมง

เวลาในการผลิตก๊าซชีวภาพ 24 ชั่วโมง ใช้ก๊าซชีวภาพปริมาณ เท่ากับ 12,000 ลบ.ม.

ก๊าซชีวภาพ CH_4 60% เท่ากับ $12{,}000 \times \frac{60}{100} = 7{,}200$ ลบ.ม.

เวลาในการผลิตก๊าซชีวภาพ 1 ชั่วโมง ใช้ก๊าซชีวภาพปริมาณ เท่ากับ $\frac{7{,}200}{24} = 300$ ลบ.ม.

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า อัตราการใช้ก๊าซ 0.3 ลบ.ม. ผลิตไฟฟ้าได้ 1 kWh

ดังนั้นบ่อหมักผลิตก๊าซได้ 300 ลบ.ม./ชม. จะผลิตไฟฟ้าได้ $\frac{300}{0.3} = 1{,}000$ kWh

ดังนั้น เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 ชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าได้ 1,000 kWh

เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 ชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าได้ 10,000 kWh

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากการออกแบบระหว่างฟาร์ม A และ ฟาร์ม B

ฟาร์ม	จำนวนสุกร (ตัว)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./วัน)	การผลิตไฟฟ้า (kW-hr)
A	60,000	14,400	1,200
B	50,000	12,000	1,000

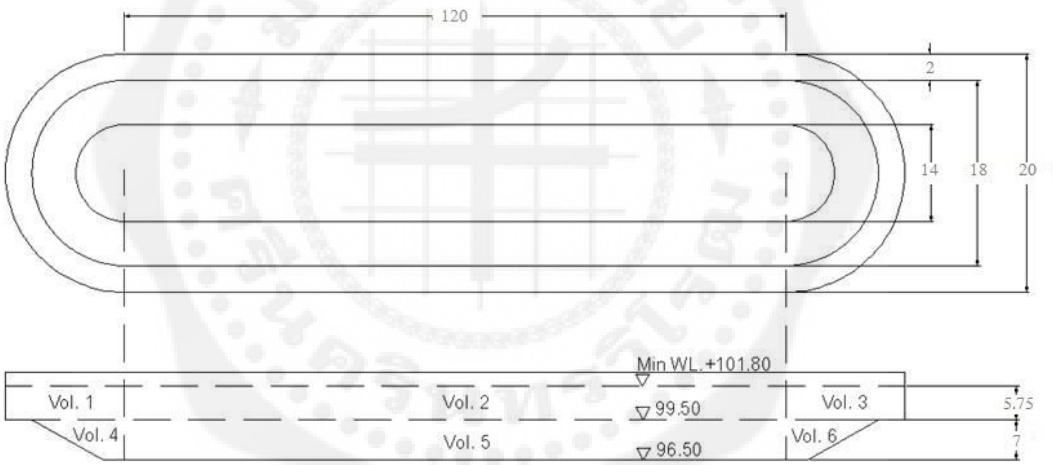
ผลการเปรียบเทียบ

การออกแบบฟาร์มสุกร ทั้งฟาร์ม A และฟาร์ม B สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 10 MWh/วัน ตามที่ต้องการ แต่ฟาร์มสุกร B ใช้จำนวนสุกรน้อยกว่า งบประมาณในการลงทุนและการเลี้ยงสุกรจึงต่ำกว่า

ดังนั้น เราจึงเลือกฟาร์มสุกร B ซึ่งมีจำนวนสุกร 50,000 ตัว

4.2.2 ออกแบบขนาดบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

การคำนวณปริมาตรบ่อหมัก CMU-CD



รูปที่ 4.24 โครงสร้างและขนาดระบบ CMU-CD

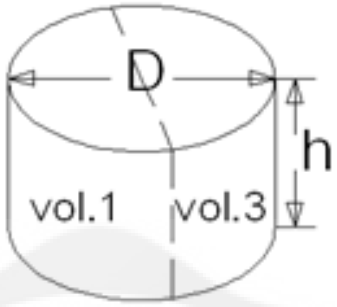
วิธีการคำนวณ

โดยทางทฤษฎี

ขนาดบ่อใส่มูลสุกร ต่อ ขนาดปริมาตรกักเก็บก๊าซชีวภาพ อัตราส่วนจะ เท่ากับ 2:1

ขนาดปริมาตรกักเก็บก๊าซ จะ เท่ากับ 110 เปอร์เซ็นต์ ของ ปริมาตรก๊าซที่ ใช้ทั้งหมดต่อวัน

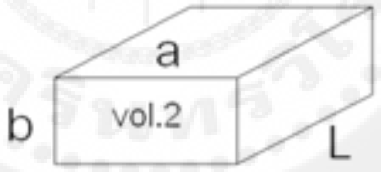
จากสมการปริมาตร = พื้นที่ฐาน x สูง



รูปที่ 4.25 ส่วนประกอบของบ่อหมัก

$$\text{Vol1. + vol.3} = \left(\frac{\pi(20)^2}{4}\right) \text{ x } 5.75$$

$$= 1{,}806.42 \text{ m}^3$$

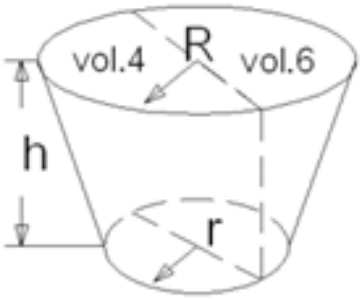


รูปที่ 4.26 ส่วนประกอบของบ่อหมัก

$$\text{Vol.2} = a \times b \times L \qquad (4\text{-}27)$$

$$\text{Vol.2} = 5.75 \text{ x } 20 \text{ x } 120$$

$$= 13{,}800 \text{ m}^3$$

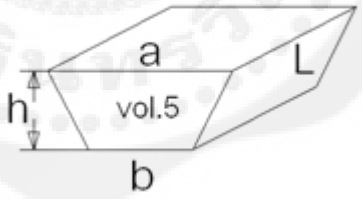


รูปที่ 4.27 ส่วนประกอบของบ่อหมัก

$$\text{Vol4. + vol.6} = \left(\frac{\pi(R^2 + r^2 + R \text{ x } r)}{3}\right) \text{ x h} \qquad (4\text{-}28)$$

$$= \left(\frac{\pi(9^2 + 7^2) + (9 \text{ x } 7)}{3}\right) \text{ x } 7$$

$$= 1{,}099.95 \text{ m}^3$$



รูปที่ 4.28 ส่วนประกอบของบ่อหมัก

$$\text{Vol.5} = \left[\frac{1}{2} \text{ x } (a + b) \text{x } h\right] x \text{ L} \qquad (4\text{-}29)$$

$$= \left[\frac{1}{2} \; x \; (18 + 14) x \; 7\right] x \; 120$$

$$= 13{,}440 \text{ m}^3$$

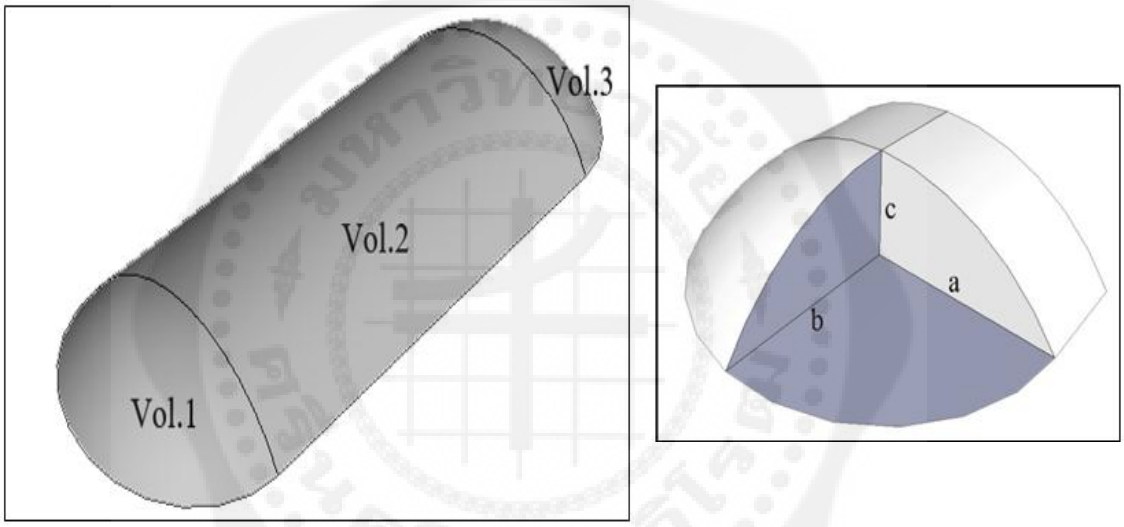
ดังนั้น ปริมาตรบ่อทั้งหมด = (Vol.1 + Vol.3) + Vol.2 + (Vol.4 + Vol.6) + Vol.5

= 1,806.42 + 13,800 + 1,099.95 + 13,440

= 30,146.37 m^3

การคำนวณปริมาตรส่วนเก็บก๊าซชีวภาพ

PVC บ่อหมักราง CMU-CD



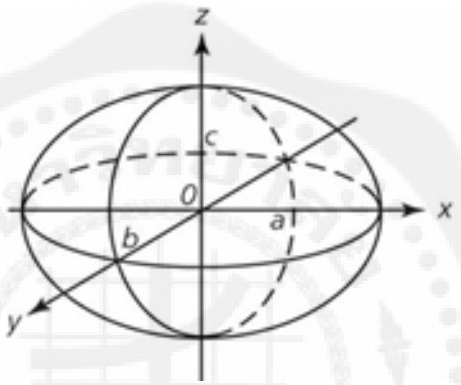
รูปที่ 4.29 แสดงแบบส่วนที่กักเก็บก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 4.3 ขนาดบ่อหมักราง CMU-CD

ขนาดระบบ (ลบ.ม./บ่อ)	30,146.37
ความกว้างของฐานโดม PVC (2a) ,ม.	31.50
รัศมีหัวโค้งโดม PVC (b) ,ม.	15.75

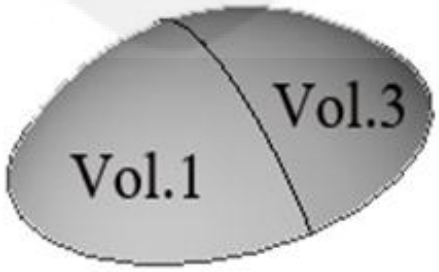
ความสูงของโดม PVC (c) ,ม.	5.25
ยาวตรง (L) ,ม.	120

จากสมการปริมาตรทรงรี



รูปที่ 4.30 แสดงสัดส่วนของทรงรี

$$\text{Vol.} = \left[\left(\frac{4}{3}\right)\pi\right] \times a \times b \times c \qquad (4\text{-}30)$$



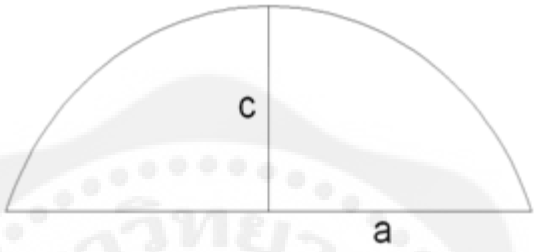
รูปที่ 31 ส่วน หัว-ท้าย ของส่วนกักเก็บก๊าซ

$$\text{Vol.1} + \text{Vol.3} = \frac{\left[\left(\frac{4}{3}\right)\pi\right] \times a \times b \times c}{2} \qquad (4\text{-}31)$$

$$= \frac{\left[\left(\frac{4}{3}\right)\pi\right]\times\left(\frac{5.75}{2}\right)\times 15.75\times 5.25}{2}$$

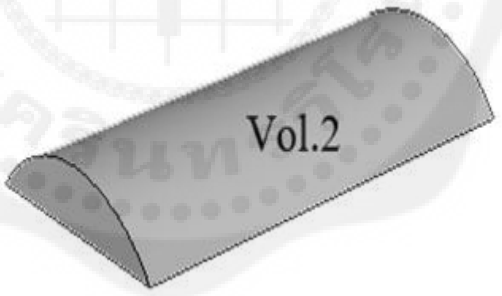
$$= 2{,}727.59 \ m^3$$

ปริมาตร = ส่วนกลางของปริมาตรกักเก็บก๊าซ



รูปที่ 4.32 แสดงหน้าตัดของส่วนกักเก็บ

$$\text{Vol.} = \left(\frac{\pi\times a\times c}{2}\right) \quad (4\text{-}32)$$



N

รูปที่ 4.33 ส่วนกลางของส่วนกักเก็บก๊าซ

$$\text{Vol.} = \left(\frac{\pi\times a\times c}{2}\right) \times \text{L} \quad (4\text{-}33)$$

$$\text{Vol.} = \left(\frac{\pi\times 15.75\times 5.25}{2}\right)\times 120$$

$= 15,586.23 \quad m^3$

ดังนั้น ปริมาตรกักเก็บก๊าซ $= (Vol.1 + Vol.3) + Vol.2$

$= 2,727.59 + 15,586.23$

$= 18,313.82 \quad m^3$/บ่อ

<u>แสดงผลการทดลอง</u>

ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพขนาด	30,146.37	ลบ.ม.
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ คาดว่าจะใช้ระบบ	12,000	ลบ.ม./วัน
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ (ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80% จากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น)	9,600	ลบ.ม./วัน
ปริมาณของเสียที่ได้จากฟาร์ม	60,000	ลิตร/วัน
จำนวนสุกร	50,000	ตัว
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด	10,000	kWh/วัน

ก๊าซชีวภาพ 4,272,000 ลบ.ม./ปี ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 555,360 ตัน/ปี

ก๊าซชีวภาพ 4,272,000 ลบ.ม./ปี บำบัดน้ำเสียได้ประมาณ 311,856,000 ลบ.ม./ปี

ก๊าซชีวภาพ 4,272,000 ลบ.ม./ปี ได้ผลผลิตปุ๋ยอินทรีย์ (ความชื้น 15%) 1,708,800 ตัน/ปี

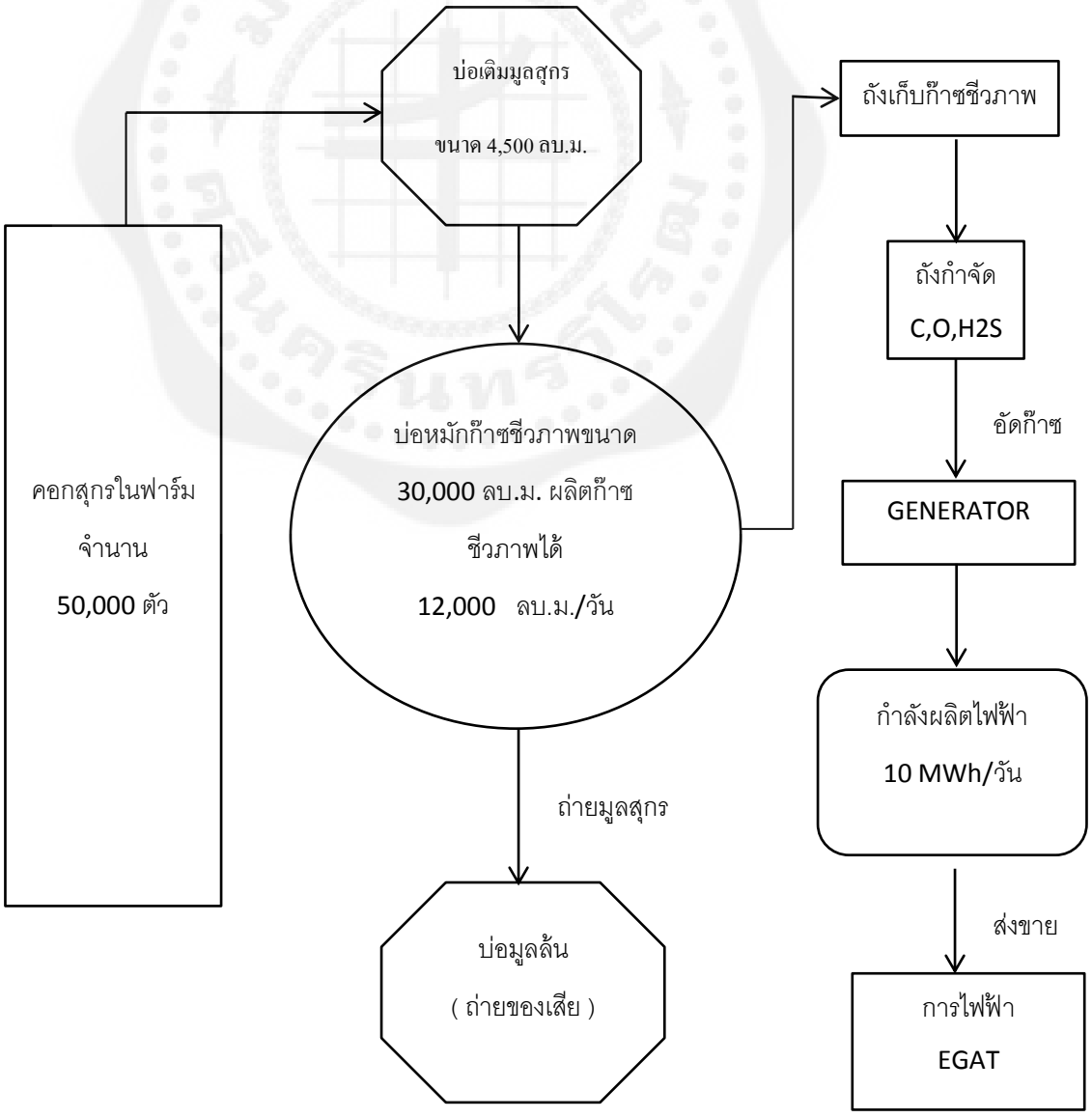
[สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน]

ตารางที่ 4.4 แสดงงบประมาณในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

รายการ	ราคา	หน่วย
1.การปรับปรุงพื้นที่ (ค่าที่ดิน และค่าใช้จ่ายพัฒนาโครงการ)	10,000,000	บาท
2.ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ (บ่อกักเก็บก๊าซ ระบบ และการบำรุงรักษา)	55,000,000	บาท
3.ระบบผลิตไฟฟ้าด้วย Bio Gas Generator ขนาด 1 MW		

(การติดตั้ง และการเชื่อม Grid)	25,000,000	บาท
4.โรงเรือน อาคาร และอื่นๆ	25,000,000	บาท
5.ค่าจ้างที่ปรึกษาการออกแบบ ควบคุม และบริหารโครงการ (วางแผนการจัดการ และแนวทางการพัฒนา)	5,000,000	บาท
5.ค่าจ้างคนงาน (ต่อปี)	2,500,000	บาท
<u>รวมงบประมาณ</u>	122,000,000	บาท

แผนภาพ ขบวนการของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ทำการออกแบบ



4.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 4.5 แสดงรายละเอียด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ (http://thai.alibaba.com)

Main Technical Data of Methane Gas Generator EJ-1500N		
Gas Gen Set	Genset Model	EJ-1500N
	Rated Power (kw/kva)	1200/1500
	Suggested Continuous Power of working 24 hours per day (kw)	1000
	Manufacturer	ETTES POWER
JDEC Gas Engine	Gas Engine Manufacture	CNPC JICHAI ENGINE CO LTD
	Gas Engine Model	H16V190ZLT-2
	Type	Turbocharger and after cooler, A/F controller, Spark ignition, electronic control, outer mixing, Combine/Mix before Turbocharging
	Cooling Method	by Heat Exchanger+Cooling Tower (Radiator is optional)
	Starting Method	24VDC Electrical
	Fuel	Natural Gas, Biogas or other Methane Based Gas
	Bore × Stroke (mm)	190×215
	Displacement (L)	97.53
	Compression Ratio	10:1
	Average Speed of Piston (m/s)	7.17
	Cylinder numbers and Type	16. Vee,60° included angle
	Ignition Type	Spark Plug Ignition
	Intake Gas Pressure Required (kPa)	10-400
	Rated Speed (r/min)	1000 (50HZ)/1200(60HZ)
	Direction of Rotation	Counter-clockwise
	Oil Consumption (g/kw.h)	≤1
	Heat Consumption(kJ/kw.h)	≤9500
	Natural Gas Consumption (m3/kw.h)	0.25-0.3
	Idle Speed (RPM)	700
	Exhaust Gas Temperature	≤650 °C
	Heavy Overhauling Time	Around 30000 hours

SIEMENS **Alternator**	Alternator Brand	Siemens or Equal
	Alternator Model	1FC6 Series
	Frequency (HZ)	50/60
	Rated Voltage (V)	400/230(50HZ), 480/240(60HZ) Other Special Voltages are available
	Power Factor (Cosφ)	0.8
	Excitation Method	Self-excited, Brushless
	Voltage Regulation	AVR
Main Parts and Control System	Governor System/Actuator (Woodward or HEINZMANN or Equal)	
	Ignition System (Motortech or Altronic or Equal)	
	Spark Plugs (Motortech, Altronic,STITT or Equal)	
	Mixer (Impco from USA or Equal)	
	Standard Control System: with functions including manual keys, alarms, protections, auto start and shut down, showing running parameters in LCD Display. Auto parallel control(optional), Auto Synchronization system (optional), Remote PC Monitor (optional)	
	Engine Tools Box and User Books	
Size and Weight	Net Weight (KG)	22000
	Dimension (L×W×H, cm)	607×238×280 (Open Type without Radiator)

Main Electronic Performance Data							
Voltage				Frequency			
Stabilized Regulation	Instantaneous regulation	Recovery Time	Fluctuation	Stabilized Regulation	Instantaneous regulation	Recovery Time	Fluctuation
±2.5%	0.05	2s	0.50%	0-5% adjustable	±10%	<7s	0.5%

รูปที่ 4.34 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก๊าซชีวภาพขนาด 1 MW

4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

- **เกณฑ์การพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุน (Payback period)**

ระยะเวลาคืนทุนเป็นการวัดผลตอบแทนจากการลงทุนว่าในระยะกี่ปีจึงจะได้รับ ทุนคืนดังแสดงในสมการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (4\text{-}34)$$

$$= \frac{122{,}500{,}000}{\left(10{,}000\,\frac{kw}{day} \times 365 \times 4.06\right) + \left(20\,\frac{\text{ตัน}}{\text{วัน}} \times 365 \times 1{,}500\right)}$$

[4.06 มาจากตัวเลขทางเศรษฐศาสตร์]

= 4.76 ปี

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลสรุปการออกแบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์

1. ขนาดระบบ (ลบ.ม.)	30,000
2. การลงทุน (บาท)	122,500,000
3. เลี้ยงสุกร (ตัว)	50,000
4. ผลผลิตก๊าซชีวภาพ	
- ปริมาณก๊าซชีวภาพที่คาดไว้ (ลบ.ม./วัน)	12,000
- ปริมาณก๊าซชีวภาพ 80% ของการออกแบบ (ลบ.ม./วัน)	9,600
- ปริมาณก๊าซชีวภาพ CH_4 60% ของการออกแบบ (ลบ.ม./วัน)	7,200

5. พลังงานทดแทน	
- ทดแทนพลังงานไฟฟ้า (kWh/day)	10,000
6. คิดมูลค่า (บาท/ปี)	25,769,000
7. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ (ตัน/ปี)	7,300
8.ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period)	4.76

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ

จากผลการศึกษาออกแบบ พบว่า โครงการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์กระแสเงินสดของโครงการ ผลตอบแทนของโครงการ (NPV) ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ และอัตราผลตอบแทนของโครงการ ได้ดังตารางที่ 2.15 และ 2.16

ตารางที่ 4.7 แสดงรายรับ (B), รายจ่าย (A), รายรับสุทธิ (B-C) ของโครงการ (หน่วย:บาท)

	รายรับ (B)	รายจ่าย (C)	รายรับสุทธิ (B-C)
โครงการ	515,380,000	120,000,000	395,380,000

พบว่า ภายในระยะเวลาของการลงทุนของโครงการเท่ากับ 20 ปี ในโครงการจะมีรายรับต่อปี ปีละ 25,769,000 บาท รวมรายรับตลอดอายุโครงการ เท่ากับ 515,380,000 บาท และรายจ่ายจะมีค่าต้นทุนคงที่ และต้นทุนการดำเนินการรายปี ซึ่งรวมแล้วตลอดอายุโครงการ เท่ากับ 120,000,000 บาท ดังนั้น รายรับสุทธิของโครงการ เท่ากับ 395,380,000 บาท สรุปว่าโครงการนี้ มีความสามารถทำกำไรให้แก่เจ้าของโครงการได้ เนื่องจากมีรายรับมากกว่ารายจ่าย

ตารางที่ 4.8 .แสดงค่า NPV และ B/C ratio ของโครงการ

โครงการ	NPV	B/C ratio
	191,560,665.06	4.295

โครงการนี้เจ้าของโครงการเป็นผู้ลงทุนทั้งหมด พบว่าเมื่อคิดอัตราคิดลด (Discount rate) ที่ 5%ต่อปีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 191,560,665.06 บาทและค่า B/C ratio เท่ากับ 4.295 เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มากกว่า 0 และ B/C ratio มากกว่า 1 แสดงค่าเป็นโครงการนี้เป็นโครงการที่มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback period) ผลการศึกษาระยะเวลาคืนทุนของโครงการโดยคำนวณหาจาก (เงินที่ใช้ลงทุนเริ่มแรก / ผลตอบแทนที่ได้รับต่อปี) ในการลงทุนโครงการนี้ระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 4 ปี กับ 6 เดือน

ผลการวิเคราะห์ อัตราผลตอบแทน (IRR) พบว่าอัตราผลตอบแทน ตลอดเวลาของอายุโครงการเมื่อคำนวณหาค่า IRR แล้ว อัตราผลตอบแทนของโครงการเท่ากับ 21% เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ 5% ซึ่งอัตราผลตอบแทนของโครงการมีค่ามากกว่า อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ ดังนั้นโครงการนี้จึงมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการออกแบบ

จากการศึกษาและออกแบบ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า ได้สูงสุด 1 MW ได้พลังงานไฟฟ้า 10 MWh/วัน ฟาร์มสุกรมีสุกรจำนวน 50,000 ตัว ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ขนาด 30,000 ลบ.ม. สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้วันละ 12,000 ลบ.ม./วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพ CH_4 60%วันละ7,200 ลบ.ม/วัน พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 10,000 kWh/วัน มีการลงทุนเป็นเงิน 120,000,000 บาท

ในการศึกษาความเป็นไปได้ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร เพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาด 1 MW เพื่อให้ทราบถึงความคุ้มค่าในการลงทุน ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งผลการวิเคราะห์โครงการนี้ ให้ผลตอบแทนของโครงการ (NPV) เท่ากับ 191,560,665.06 บาท ระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 4 ปี กับ 8 เดือน อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) เท่ากับ 21% โครงการนี้จึงมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้

ขนาดระบบ	30,000 ลบ.ม.
จำนวนสุกร	50,000ตัว
การลงทุน	120,000,000 บาท
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบ	12,000 ลบ.ม./วัน
ปริมาณก๊าซชีวภาพ CH_4 60%	7,200 ลบ.ม./วัน

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	10,000 kWh/วัน
การผลิตปุ๋ยอินทรีย์	7,300 ตัน/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	4 ปี 8 เดือน

5.2 อุปสรรคและข้อผิดพลาด

- เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบโครงการต้องเป็นขั้นเป็นตอน และมีรายละเอียดค่อนข้างมาก จึงส่งผลให้ระยะเวลาดำเนินการล่าช้าพอสมควร

- เนื่องจากโครงการเป็นโครงการที่ใช้ต้นทุนสูง จึงทำให้มีผู้ที่ทำการศึกษายังมีจำนวนไม่มาก ทำให้ยากต่อการค้นหาข้อมูลเพิ่มเติม

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ จะได้ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์มากขึ้นกว่านี้ หากเดินเครื่องยนต์นานมากกว่าวันละ 10 ชั่วโมง แต่ต้องศึกษาเรื่องของปริมาณก๊าซ ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงว่าเพียงพอหรือไม่

5.3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ จะได้ดียิ่งกว่านี้ถ้าได้มีการนำเอาความร้อนที่ ได้จากการระบายความร้อนของเครื่องยนต์ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ภายในฟาร์มสุกร

5.3.3 ควรมีการศึกษาส่วนประกอบ ของก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรที่จะใช้ใน การสันดาปเครื่องยนต์ซึ่งมีผลในการกัดกร่อน ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ จนทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ลดลง

เอกสารอ้างอิง

ผู้ช่วยศาสตร์จารย์ วัฒนา กสิกุล และคณะ.2548. การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะและ ผลตอบแทนกาณ ลงทุนของเครื่องยนต์ชนิดต่างๆ ที่ใช้ก๊าซชีวภาพมูลสุกรเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า , รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

นิศรา รัตนานนท์, ณัฏฐณิชา ชูกุล. 2552. การจำลองสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจน โดยวิธีการปฏิรูปด้วยไอน้ำจากก๊าซชีวภาพ. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุวิทย์ ม่วงคุณ. 2552. การศึกษาสมรรถนะของ ระบบผลิตก๊าซชีวมวลเพื่อใช้กับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนคินทรวิโรฒ

กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. 2543. โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ส่วนที่1 ฟาร์มขนาดกลางและขนาดใหญ่. เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง การส่งเสริมการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน

นพพร ชูศักดิ์พานิชย์ และคณะ. 2534. การใช้ก๊าซชีวภาพเดินเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า. ปริญญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

วีรศักดิ์ สุวรรณประภา. 2538. ศักยภาพของการใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร เพื่อเป็นแหล่งพลังงานในฟาร์ม. วิทยานิพนธ์. คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพรจอมเกล้าลาดกระบัง

ปรีชา ศิริชาญ. 2544. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ชาติชาย อัศดร, พัชราภรณ์ เนียนมณี. 2547. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. สำนักพิมพ์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เสาวณี ศรีหมอก .2557. เจ้าของฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดเล็ก ต.น้ำผุด อ.เมือง จ.ตรัง

อดิศร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา .2542. คณะพัฒนาการเศรษฐกิจ. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

อาจารย์ กำชัย ตันติกาพงศ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

www.onep.go.th (สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ส.ผ.))

www.eppo.go.th (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

www.erc.or.th (คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) และ สำนักคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (สกพ.)

www.egat.co.th (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลวิเคราะห์และค่าใช้จ่าย

ตาราง ก-1 ข้อมูลสรุปการออกแบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์

1. ขนาดระบบ (ลบ.ม.)	30,000
2. การลงทุน (บาท)	120,000,000
3. เลี้ยงสุกร (ตัว)	50,000
4. ผลผลิตก๊าซชีวภาพ	
- ปริมาณก๊าซชีวภาพที่คาดไว้ (ลบ.ม./วัน)	12,000
- ปริมาณก๊าซชีวภาพ 80% ของการออกแบบ (ลบ.ม./วัน)	9,600
- ปริมาณก๊าซชีวภาพ CH_4 60% ของการออกแบบ (ลบ.ม./วัน)	7,200
5. พลังงานทดแทน	
- ทดแทนพลังงานไฟฟ้า (kWh/day)	10,000
6. คิดมูลค่า (บาท/ปี)	25,769,000
7. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ (ตัน/ปี)	7,300
8.ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period)	4.76

ตาราง ก-2 งบประมาณในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

รายการ	ราคา	หน่วย
1.การปรับปรุงพื้นที่ (ค่าที่ดิน และค่าใช้จ่ายพัฒนาโครงการ)	10,000,000	บาท
2.ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ (บ่อกักเก็บก๊าซ ระบบ และการบำรุงรักษา)	55,000,000	บาท
3.ระบบผลิตไฟฟ้าด้วย Bio Gas Generator ขนาด 1 MW (การติดตั้ง และการเชื่อม Grid)	25,000,000	บาท
4.โรงเรือน อาคาร และอื่นๆ	25,000,000	บาท
5.ค่าจ้างที่ปรึกษาการออกแบบ ควบคุม และบริหารโครงการ (วางแผนการจัดการ และแนวทางการพัฒนา)	5,000,000	บาท
รวมงบประมาณ	120,000,000	บาท

ตาราง ก-3 รายรับ (B), รายจ่าย (A), รายรับสุทธิ (B-C) ของโครงการ (หน่วย:บาท)

	รายรับ (B)	รายจ่าย (C)	รายรับสุทธิ (B-C)
โครงการ	515,380,000	120,000,000	395,380,000

ตาราง ก-4 ค่า NPV , B/C ratio และ IRR ของโครงการ

โครงการ	NPV	B/C ratio	IRR
	191,560,665.06	4.295	21%

ตาราง ก-5 การคำนวณค่า IRR

	A	B	C	D
2	Year	Cash flow	Present value	
3	0	-120,000,000	-120000000	
4	1	25,769,000	24541904.76	
5	2	25,769,000	23373242.63	
6	3	25,769,000	22260231.08	
7	4	25,769,000	21200220.07	
8	5	25,769,000	20190685.78	
9	6	25,769,000	19229224.56	
10	7	25,769,000	18313547.2	
11	8	25,769,000	17441473.52	
12	9	25,769,000	16610927.16	
13	10	25,769,000	15819930.63	
14	11	25,769,000	15066600.6	
15	12	25,769,000	14349143.43	
16	13	25,769,000	13665850.88	
17	14	25,769,000	13015096.08	
18	15	25,769,000	12395329.6	
19	16	25,769,000	11805075.81	
20	17	25,769,000	11242929.34	
21	18	25,769,000	10707551.76	
22	19	25,769,000	10197668.34	
23	20	25,769,000	9712065.084	
24	Net present value		฿191,560,665.06	
25	Internal rate of return		21%	
26	*Interest	5%		

ภาคผนวก ข กลุ่มก๊าซที่ย่อยสลาย ศักยภาพต่างๆ และอัตราการทดแทนการใช้พลังงาน

ตาราง ข-1 กลุ่มก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายของอินทรียวัตถุ

ชนิดของก๊าซ	ปริมาณ
มีเทน	ร้อยละ 50 - 60
คาร์บอนไดออกไซด์	ร้อยละ 25 -35
ไนโตรเจน	ร้อยละ 2 - 7
ไฮโดรเจน	ร้อยละ 1 - 5
คาร์บอนมอนอกไซด์	เล็กน้อย
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	เล็กน้อย
ก๊าซอื่นๆ	เล็กน้อย

(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

ตาราง ข-2 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของของเสียแต่ละชนิด

ประเภท	ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (ลูกบาศก์เมตรของ CH_4/Ton of material)
มูลสัตว์ประเภทของเหลว	20
มูลสัตว์	40
กากมันฝรั่ง	50
น้ำเสียจากอุตสาหกรรม	75
เศษหญ้า/ใบไม้	125
ฟางข้าวโพด	150
กากของเสียจากครัวเรือน	180
ชาญอ้อย	230
ไขมันที่ใช้แล้ว	250
เศษพืชผลทางการเกษตร	300

ตาราง ข-3 การประเมินศักยภาพพลังงานจากมูลสัตว์, พ.ศ.2543

ชนิด	จำนวน (ตัว)	ปริมาณมูลสด (กก./ตัว/วัน)	อัตราส่วนมูลที่เก็บได้	อัตราส่วนของแข็งทั้งหมด (%)	อัตราส่วนของแข็งระเหยได้ (%)	ปริมาณมูลแห้งที่ได้ (10^6 กก.มูลแห้ง/ปี)	อัตราส่วนก๊าซที่ผลิตได้ (ลบ.ม/กก.ของแข็งระเหยได้)	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ (10^6 ลบ.ม/ปี)	พลังงาน (เทลาจูล/ปี)
1. โค									
- โคเนื้อ	4,900,614	5.00	0.50	17.44	13.37	779.88	0.307	183.55	3,855
- โคนม	307,927	15.00	0.80	17.44	13.37	235.22	0.307	55.36	1,163
2. กระบือ	1,703,223	8.00	0.50	17.77	13.64	441.63	0.287	96.95	2,036
3. สุกร									
-สุกรแม่พันธุ์	791,024	2.00	0.80	35.22	24.84	162.70	0.217	24.90	523
-สุกรพ่อพันธุ์	120,903	2.00	0.80	35.22	24.84	24.87	0.217	3.81	80
- ลูกสุกร	2,123,663	0.50	0.80	35.22	24.84	109.20	0.217	16.71	351
- สุกรขุน	4,400,326	1.20	0.80	35.22	24.84	543.05	0.217	83.11	1,745
-สุกรพื้นเมือง	325,140	1.20	0.80	35.22	24.84	40.13	0.217	6.41	128.96
4. ไก่	172,247,561	0.03	0.80	33.99	22.34	512.87	0.242	81.57	1,713
5. เป็ด	27,880,041	0.03	0.40	26.82	17.44	32.76	0.310	6.60	139
6. ช้าง	2,178	40.00	0.50	26.64	21.61	4.24	0.241	0.83	17
รวมทั้งหมด								559.54	11,750

แหล่งข้อมูล : (1) กรมปศุสัตว์, ข้อมูลเศรษฐกิจการปศุสัตว์ประจำปี 2543

(2) กรมส่งเสริมการเกษตร, คู่มือการคำนวณขนาดของบ่อก๊าซชีวภาพที่จะก่อสร้าง (ยกเว้นข้อมูลช้าง)

(3) ประเมินโดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

(4) ผลการทดลองจากห้องทดลองกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

หมายเหตุ ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ = 21 เมกะจูล/ลบ.ม.

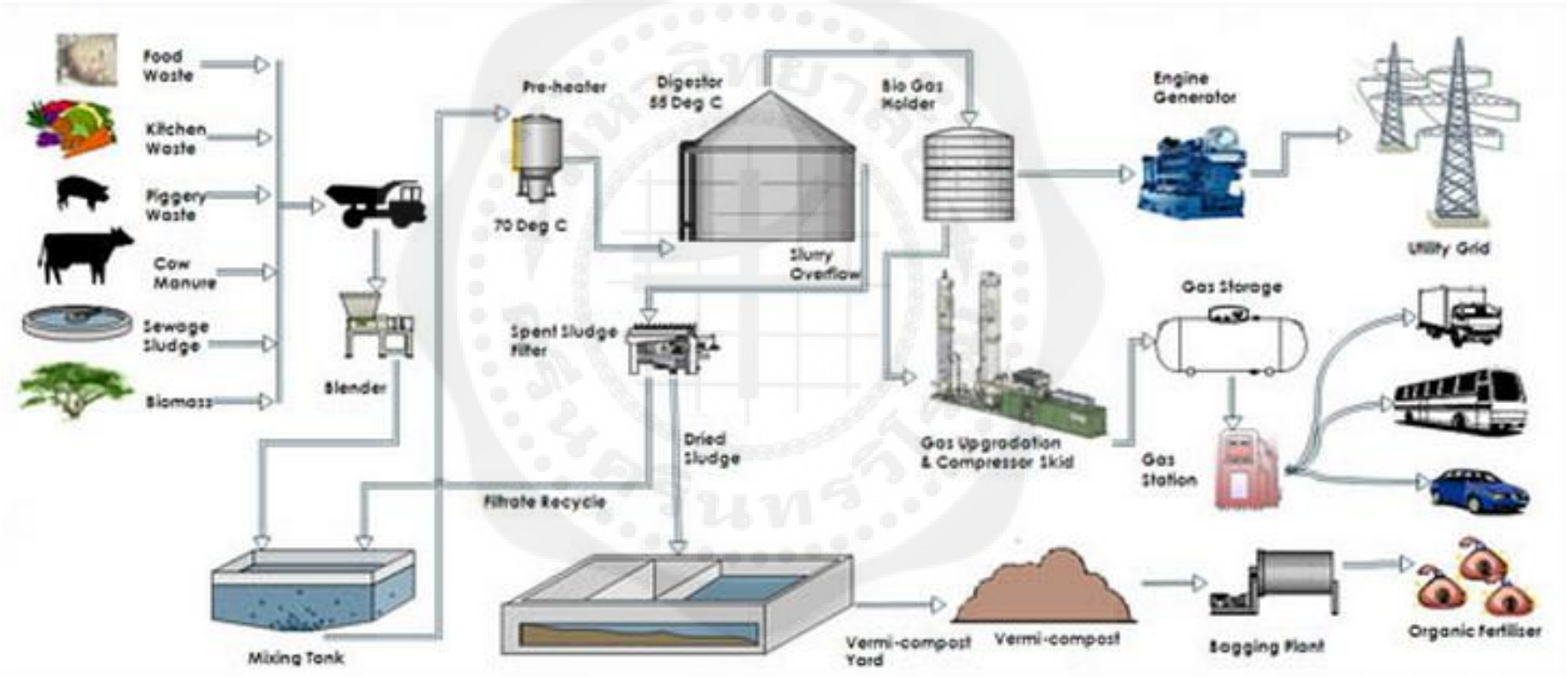
ตาราง ข-4 อัตราการทดแทนการใช้พลังงานของก๊าซชีวภาพ

พลังงานทดแทน	อัตราการทดแทนต่อก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม.
LPG	0.46 กิโลกรัม
น้ำมันดีเซล	0.67 ลิตร
น้ำมันเบนซิน	0.60 ลิตร
ฟืนไม้	1.50 กิโลกรัม
กระแสไฟฟ้า	1.2 - 1.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

(คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) และ สำนักคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (สกพ.)

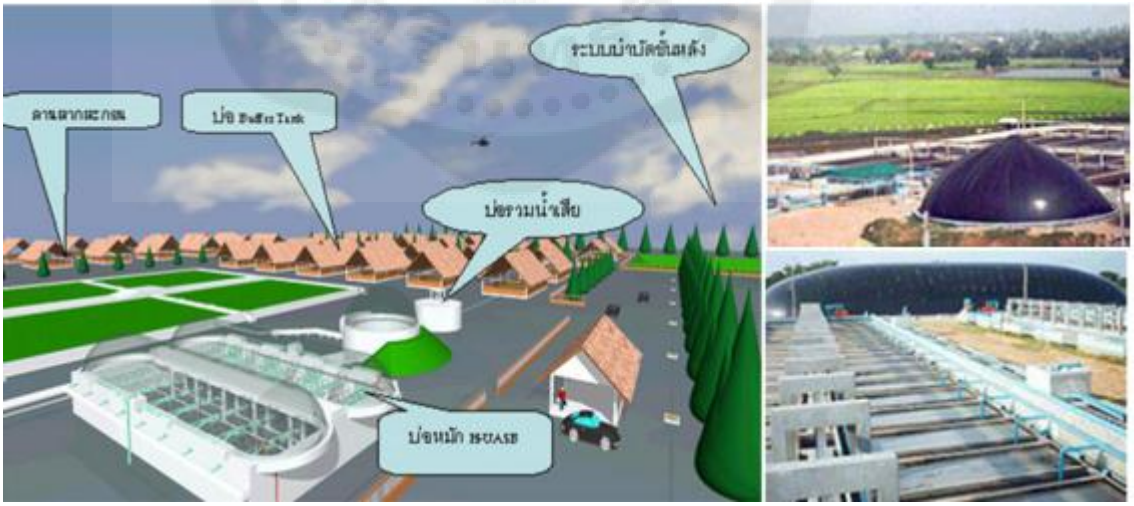
ภาคผนวก ค ระบบการผลิต บ่อหมักแบบโดม และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบต่างๆ

รูป ค-1 ระบบผลิตจากวัสดุต่างๆ

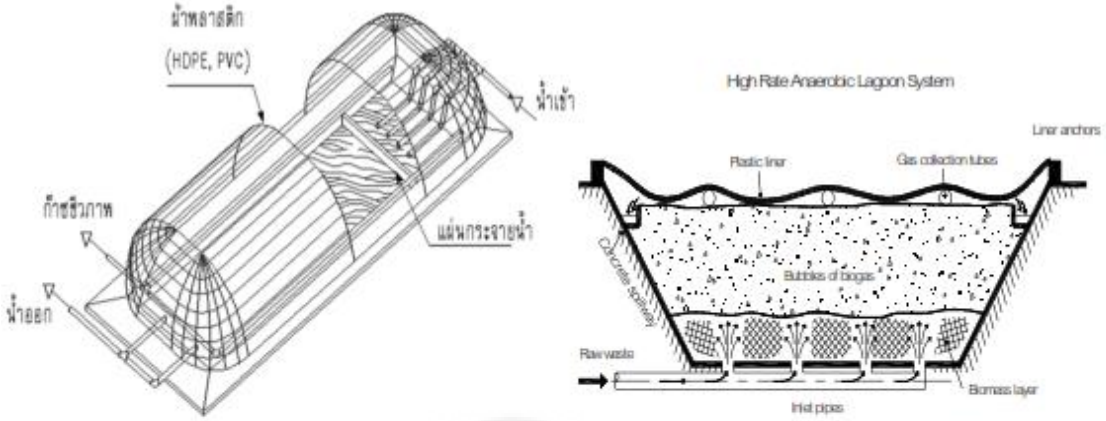


(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

รูป ค-2 การผลิตก๊าซชีวภาพใช้ภาคอุตสาหกรรม



รูป ค-3 ระบบบ่อหมักโดมคงที่

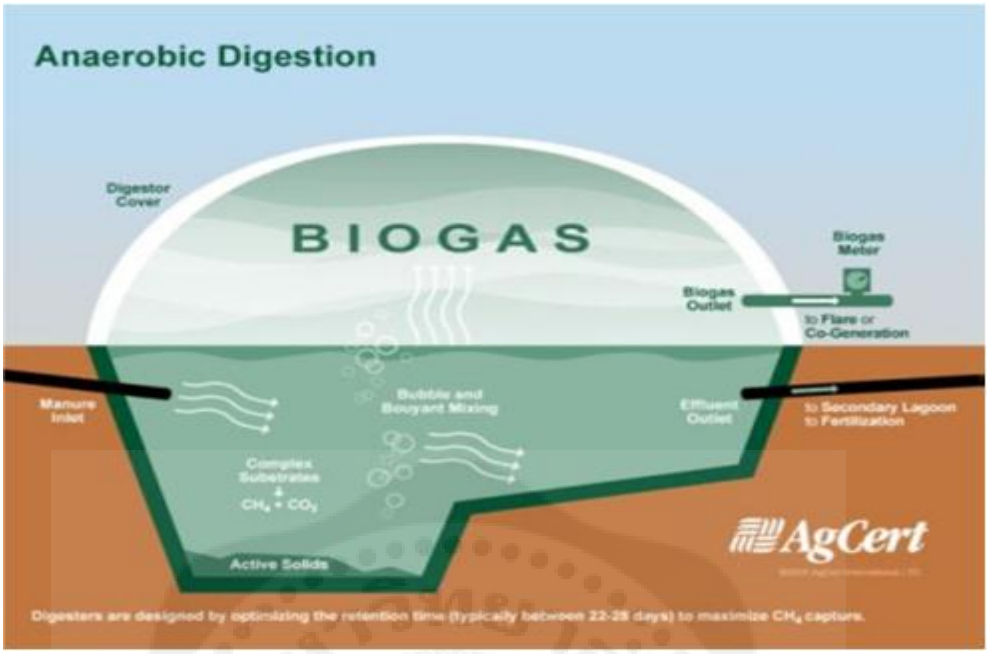


รูปแสดงระบบบ่อ Modified Covered Lagoon (ซ้าย) และลักษณะของท่อกระจายน้ำในบ่อ (ขวา)

รูปแสดงโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพระบบ Modified Covered Lagoon ขนาด 3 MW
บริษัท ทีเอสเอ็มไบโอเอ็นเนอร์ยีจำกัด

รูป ค-4 แสดงระบบโรงไฟฟ้าและบ่อ

รูป ค-5 แสดงบ่อหมักแบบ PVC



รูป ค-6 แสดงระบบภายในบ่อ

(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

รูป ค-7 แสดงบ่อหมัก

(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

ตาราง ค-8 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบต่างๆ

ระบบ	ประสิทธิภาพ
ระบบกังหันไอน้ำ	ร้อยละ 15
ระบบกังหันก๊าซเดินคู่กับระบบกังหันไอน้ำ	ร้อยละ 30
ระบบเครื่องยนต์ก๊าซสันดาปภายใน	ร้อยละ 35

(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

ภาคผนวก ง ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า การรับซื้อไฟฟ้าและศักยภาพก๊าซชีวภาพคงเหลือ

ตาราง ง-1 แสดงต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

ต้นทุน/หน่วยไฟฟ้า	บาท/Kwh*
1. แสงอาทิตย์	12.50
2. ลม	5.20
3. ขยะ	3-5
4. ชีวมวล	3-3.50
5. นิวเคลียร์	2.79
6. ถ่านหิน	2.94
7. พลังงานความร้อนร่วม (Gas Existing)	3.96
8. พลังงานร้อนรวม (Marginal Gas)	4.34
9. กังหันแก๊ส	13.65

(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

ตาราง ง-2 สถานภาพการรับซื้อไฟฟ้าจาก SPP และ VSPP ประเภทก๊าซชีวภาพ

ประเภทเชื้อเพลิง/เทคโนโลยี	ยื่นข้อเสนอ			ลงนาม PPA แล้ว (รอ COD)			ขายไฟฟ้าเข้าระบบแล้ว			รวมทั้งหมด		
	จำนวน (ราย)	กำลังผลิตติดตั้ง (MW)	ปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขาย (MW)	จำนวน (ราย)	กำลังผลิตติดตั้ง (MW)	ปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขาย (MW)	จำนวน (ราย)	กำลังผลิตติดตั้ง (MW)	ปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขาย (MW)	จำนวน (ราย)	กำลังผลิตติดตั้ง (MW)	ปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขาย (MW)
SPP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VSPP	**46**	**99.72**	**84.95**	**33**	**84.24**	**72.32**	**41**	**51.01**	**43.04**	**120**	**234.97**	**200.31**
มูลสัตว์	2	0.15	0.13	4	1.41	1.31	8	1.60	1.33	14	3.17	2.77
น้ำเสียจากโรงงาน	32	90.47	77.07	26	79.63	67.86	29	47.57	40.05	87	217.67	184.99
ฟาง	4	1.30	1.29	0	-	-	4	1.84	1.66	8	3.14	2.95
อื่นๆ (หญ้าขน, ชีวภาพ)	8	7.79	6.46	3	3.20	3.15	0	-	-	11	10.99	9.61
รวม SPP และ VSPP	**46**	**99.72**	**84.95**	**33**	**84.24**	**72.32**	**41**	**51.01**	**43.04**	**120**	**234.97**	**200.31**

(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย)

ตาราง ง-3 มาตรการส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน

เชื้อเพลิง	ส่วนเพิ่ม (บาท/kwh)	ส่วนเพิ่มพิเศษ (บาท/kWh)[1]	ส่วนเพิ่มพิเศษใน 3 จว.ภาคใต้ (บาท/kWh)[2]	ระยะเวลาสนับสนุน (ปี)
❑ ชีวมวล				
- กำลังผลิตติดตั้ง <= 1 MW	0.50	1.00	1.00	7
- กำลังผลิตติดตั้ง >1 MW	0.30	1.00	1.00	7
❑ **ก๊าซชีวภาพ (ทุกประเภทแหล่งผลิต)**				
- กำลังผลิตติดตั้ง <= 1 MW	**0.50**	**1.00**	**1.00**	**7**
- กำลังผลิตติดตั้ง >1 MW	**0.30**	**1.00**	**1.00**	**7**
❑ ขยะ (ขยะชุมชน ขยะอุตสาหกรรมไม่อันตราย และไม่เป็นขยะอินทรีย์วัตถุ)				
- ระบบฝังกลบหรือหลุมฝังกลบขยะ	2.50	1.00	1.00	7
- พลังงานความร้อน(Thermal Process)	3.50	1.00	1.00	7
❑ พลังงานลม				
- กำลังผลิตติดตั้ง <= 50 kW	4.50	1.50	1.50	10
- กำลังผลิตติดตั้ง > 50 kW	3.50	1.50	1.50	10
❑ พลังงานแสงอาทิตย์	6.50/8.00[3]	1.50	1.50	10
❑ พลังน้ำขนาดเล็ก				
- กำลังผลิตติดตั้ง 50kw -<200 kW	0.80	1.00	1.00	7
- กำลังการผลิตติดตั้ง <50 kW	1.50	1.00	1.00	7

หมายเหตุ 1. สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่มีการผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซล

2. กพช. เห็นชอบให้เพิ่มพื้นที่อีก 4 อำเภอคือ อ.จะนะ อ.เทพา อ.สะบ้าย้อย และอ.นาทวี จังหวัดสงขลา เมื่อ 25 พ.ย. 53

3. ผู้ที่ยื่นขอเสนอขายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับหนังสือตอบรับแล้วก่อนวันที่ 28 มิ.ย.53 จะได้ Adder 8 บาท และผู้ที่ได้รับหนังสือตอบรับหลัง วันที่ 28 มิ.ย. 53 จะได้ Adder 6.50 บาท

(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย)

ตาราง ง-4 ศักยภาพก๊าซชีวภาพคงเหลือสำหรับผลิตพลังงาน

ประเภท	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้(ล้าน ลบ.ม./ปี)	ศักยภาพพลังงาน	
		พลังงานความร้อน (Ktoe/ปี)	พลังงานไฟฟ้า (MW)
ฟาร์มปศุสัตว์			
สุกร	307.03	119.5	16.22
โคนม	120.07	59.3	0.20
โคเนื้อ	341.29	169.64	-
กระบือ	77.45	38.50	-
ไก่	111.58	55.46	-
เป็ด	5.38	2.67	-
รวมปริมาณก๊าซชีวภาพของฟาร์มปศุสัตว์	962.8	445.09	16.42
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ถูกนำมาใช้ผลิตพลังงานแล้ว	34.25	16.97	3.024
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เหลือ	928.55	428.1	13.40
โรงงานอุตสาหกรรม			
ปาล์มน้ำมัน	162.92	-	45.05
เอทานอล	299.88	13.57	75.35
แป้งมันสำปะหลัง	453.34	113.09	62.24
กระดาษ	29.45	1.88	7.10
อาหาร	100.67	22.55	15.25
ยางพารา	82.31	1.98	21.66
รวมปริมาณก๊าซชีวภาพของโรงงานอุตสาหกรรม	1,128.6	153.07	226.65
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ถูกนำมาใช้ผลิตพลังงานแล้ว	308.97	153.07	46.146
ปริมาณศักยภาพโรงงานที่เหลือ	819.61	0.00	180.50
รวมศักยภาพทั้งหมด	2,091.4	598.16	243.07
รวมการใช้พลังงานแล้วทั้งหมด	343.22	170.04	49.17
ปริมาณศักยภาพที่เหลือ	1,748.15	428.12	193.90

(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

ภาคผนวก จ สมมติฐานและปริมาตรการปล่อยก๊าซและมลพิษกำลังการผลิตที่พึ่งได้

ตาราง จ-1 สมมติฐานการปล่อยก๊าซ

ประเภท	ก๊าซเรือนกระจก GHG g/kWh	ไนโตรเจนออกไซด์ NOX g/kWh	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ SO2 g/kWh	ฝุ่นละออง TSP g/kWh	ปรอท Hg mg/kWh
ลิกไนต์-กฟผ./น่าเข้า	1200	5.80	5.27	0.62	0.04
ถ่านหิน-กฟผ./IPP	960	3.79	3.76	0.33	0.36
น้ำมันเตา	770	2.90	4.90	0.25	0.01
ดีเซล	650	2.90	1.29	0.25	0.01
ก๊าซธรรมชาติ	512	1.25	0.31	0.01	0.00
พลังน้ำขนาดใหญ่-กฟผ./น่าเข้า	15	0.02	0.01	0.01	0.00
โคเจนเนอเรชั่น-ก๊าซ	343	0.84	0.21	0.01	0.00
โคเจนเนอเรชั่น-ถ่านหิน	643	2.54	2.52	0.23	0.36
มาเลเซีย	443	1.25	0.31	0.10	0.00
ชีวมวล	46	2.50	0.30	0.20	0.00
ก๊าซชีวภาพ	-33	1.94	0.07	0.10	0.00
พลังงานแสงอาทิตย์	30	0.01	0.02	0.02	0.00
พลังน้ำขนาดเล็ก	2	0.01	0.00	0.00	0.00
ลม	10	0.00	0.07	0.01	0.00
ขยะ	58	3.13	0.38	0.25	0.00
นิวเคลียร์	170	0	0	0	0

(สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ส.ผ.))

ตาราง จ-2 ปริมาณการปล่อยมลพิษ

ปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศจากการใช้พลังงานจำแนกตามชนิดปี 2551

หน่วย : 1,000 ตัน

สาขา	CO_2	CO	NOx	CH_4	SO_2
ขนส่ง	52,379	514	237	20	11
ไฟฟ้า	83,370	68	261	7	353
อุตสาหกรรมการผลิต	45,023	200	219	5	295
บ้านและธุรกิจการค้า	6,389	2,484	35	52	0
อื่นๆ[1/]	10,984	105	171	1	4

(สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ส.ผ.))

ตาราง จ-3 กำลังการผลิตพึ่งได้ของพลังงานหมุนเวียน

พลังงานหมุนเวียน	กำลังผลิตพึ่งได้
ชีวมวล	40%
ชีวมวล (แกลบ)	70%
ก๊าซชีวภาพ	21%
พลังงานแสงอาทิตย์	21%
ลม	5%
พลังงานน้ำขนาดเล็ก	40%
ขยะ	20%

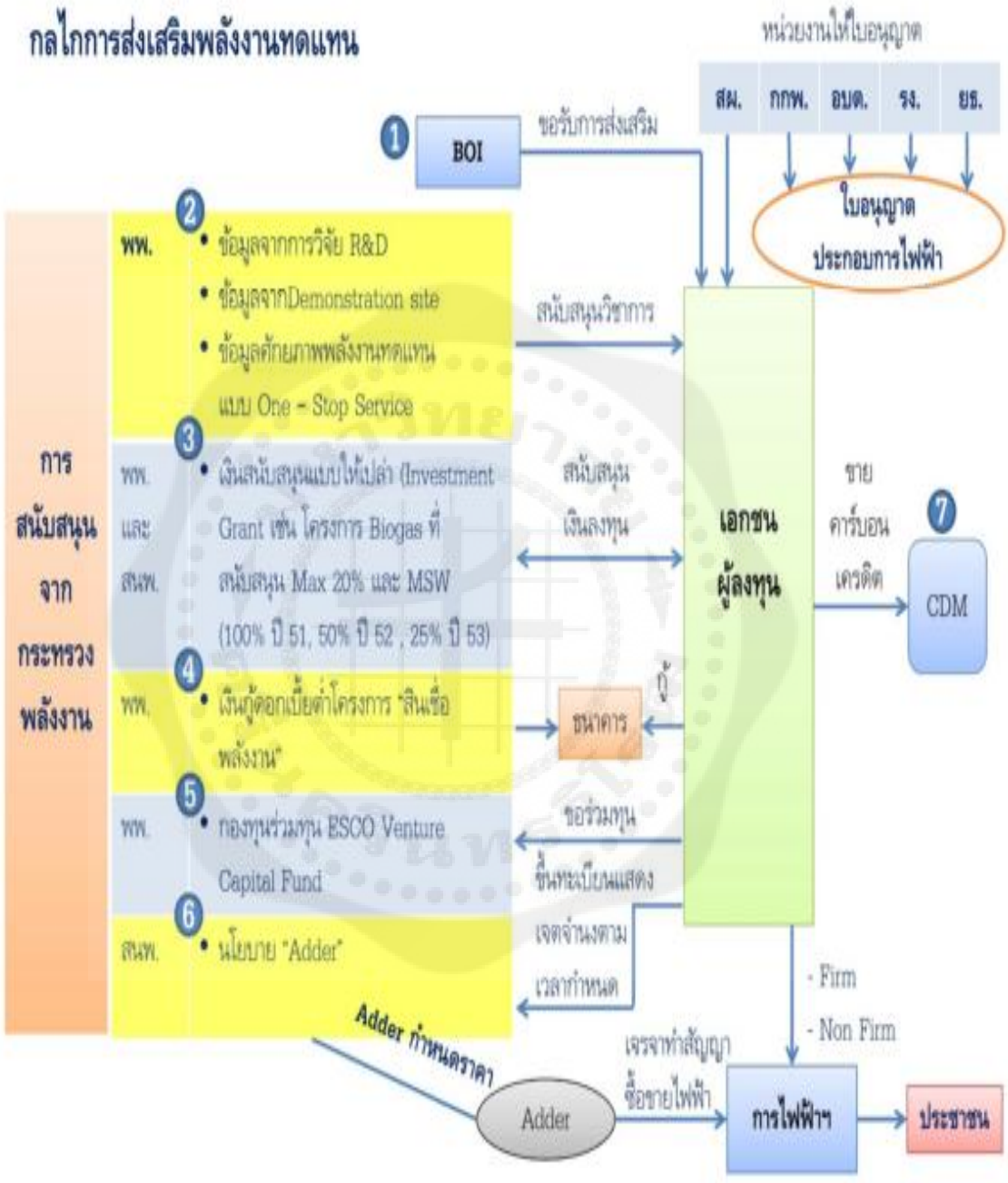
(คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) และ สำนักคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (สกพ.))

ตาราง จ-4 ปริมาณก๊าซสุกร 1 ตัว

สุกร 1 ตัว	ผลิตก๊าซ 0.24 ลบ.ม./วัน
สุกร 1 ตัว	มูลเฉลี่ย 4 กก./วัน
ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร	ประสิทธิภาพเท่ากับ ก๊าซมีเทน 0.62 ลบ.ม.

(อาจารย์ กำชัย ตันติกาพงศ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ)

ภาคผนวก ฉ กลไกการส่งเสริม กองทุนและเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ



รูป ฉ-1 แสดงกลไกการส่งเสริมพลังงานทดแทน

(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

ตาราง ฉ-2 กองทุนพัฒนาไฟฟ้า

เชื้อเพลิง	สตางค์/หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน
ถ่านหิน, ลิกไนต์	2.0
พลังงานหมุนเวียนประเภทพลังน้ำ	2.0
น้ำมันเตา, ดีเซล	1.5
ก๊าซธรรมชาติ	1.0
พลังงานหมุนเวียนประเภทลมและแสงอาทิตย์	1.0
พลังงานหมุนเวียนประเภทอื่น เช่น ก๊าซชีวภาพ ชีวมวล กากและเศษวัสดุเหลือใช้ ขยะชุมชน และอื่นๆ	1.0

(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย)

ตาราง ฉ-3 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยี	รายละเอียด
ระบบบ่อไร้อากาศ (Anaerobic)	นิยมใช้ในโรงงานค่าใช้จ่ายถูก แต่มีกลิ่นเหม็นรบกวน
ระบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoons)	ไม่มีกลิ่นรบกวน มีต้นทุนถูก แต่ประสิทธิภาพและอายุการใช้งานต่ำ
บ่อโดมคงที่ (Fixed Dome)	เป็นบ่อหมักก๊าซในฟาร์มสุกรขนาดเล็ก ประหยัดพื้นที่
ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter ; AF)	ไม่เหมาะกับระบบที่ใหญ่มาก มีการใช้งานในขนาดเล็ก/กลาง
ระบบยูเอเอสบี (Up flow Anaerobic Sludge Blanket; UASB)	มีประสิทธิภาพสูง ค่าก่อสร้างสูง รับสารอินทรีย์ได้สูง แต่มีไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง
ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed; EGSB)	ระบบนี้ก็ต้องการการออกแบบและดูแลที่ดี
ระบบกวนสมบูรณ์ (CSTR)	รับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง แต่ประสิทธิภาพของระบบต่ำ
ระบบแอนแอโรบิคคอนเทค (Anaerobic Contact)	มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลาย แพงกว่าระบบอื่นๆ
ระบบหมักแบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic Baffled Reactor)	สามารถใช้กับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง ระบบมีขนาดใหญ่
ระบบย่อยสลัดจ์แบบราง Plug Flow Digester)	มักนิยมใช้ในฟาร์มหมู ซึ่งมีสารแขวนลอยสูง 24

(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กรมกระทรวงพลังงาน)

ประวัติย่อนิสิตผู้ทำโครงงาน

ชื่อ-สกุล นายณัฐดนัย หิรัญจรรยาสิริ

วัน เดือน ปี เกิด 2 ธันวาคม 2534

สถานที่เกิด จ.กรุงเทพมหานคร

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 600/30 หมู่ 7 ต.คูคต อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี 12130

เบอร์โทรศัพท์ 085-1990046

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548 โรงเรียนธัญบุรี

พ.ศ. 2551 โรงเรียนฤทธิยะวรรณาลัย

ปีปัจจุบัน กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประวัติย่อนิสิตผู้ทำโครงงาน

ชื่อ-สกุล นายภานุวัฒน์ เครือทอง

วัน เดือน ปี เกิด 17 มกราคม 2535

สถานที่เกิด อ.เมือง จ.สงขลา

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 128 หมู่ 2 ต.ปากแจ่ม อ.ห้วยยอด จ.ตรัง 92190

เบอร์โทรศัพท์ 084-1882524

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548 โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ตรัง

พ.ศ. 2551 โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ตรัง

ปีปัจจุบัน กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประวัติย่อนิสิตผู้ทำโครงงาน

ชื่อ-สกุล นายสิวะรักษ์ จับปรั่ง

วัน เดือน ปี เกิด 3 ตุลาคม 2534

สถานที่เกิด อ.เมือง จ.ตรัง

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 73/2 หมู่ 8 ต.ควนปริง อ.เมือง จ.ตรัง 92000

เบอร์โทรศัพท์ 084-6255209

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548 โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ตรัง

พ.ศ. 2551 โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ตรัง

ปีปัจจุบัน กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ