การศึกษาและออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าขนาด 2.5 กิโลวัตต์สำหรับครัวเรือน

RESEARCH AND DESIGN BIOGAS OF THE 2.5 kW ELECTRIC POWER FROM NAPIER GRASS FOR HOUSEHOLD

นางสาวเสาวนีย์ อุดมสิน
นางสาววีรปภา เหรียญอารีย์

โครงงานวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาและออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าขนาด 2.5 กิโลวัตต์สำหรับครัวเรือน

RESEARCH AND DESIGN BIOGAS OF THE 2.5 kW ELECTRIC POWER FROM NAPIER GRASS FOR HOUSEHOLD

นางสาวเสาวนีย์ อุดมสิน
นางสาววีรปภา เหรียญอารีย์

โครงงานวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

โครงงานวิศวกรรม

เรื่อง

การศึกษาและออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าขนาด 2.5 กิโลวัตต์ สำหรับครัวเรือน

ของ

นางสาวเสาวนีย์ อุดมสิน

นางสาววีรปภา เหรียญอารีย์

ได้รับอนุมัติจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.เวคิน ปิยรัตน์)

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ธนาธิป สุ่มอิ่ม)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.คมกฤษ ประเสริฐวงษ์)

การศึกษาและออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า ขนาด 2.5 กิโลวัตต์สำหรับครัวเรือน ปีการศึกษา 2559

โดย

นางสาวเสาวนีย์ อุดมสิน

นางสาววีรปภา เหรียญอารีย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร.คมกฤษ ประเสริฐวงษ์

บทคัดย่อ

โครงงานวิศวกรรมนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์เพื่อนำมาผลิตไฟฟ้าสำหรับครัวเรือนขนาด 2.5 กิโลวัตต์ ซึ่งได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อนำมาออกแบบในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่สามารถนำมาใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน ผลการออกแบบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าขนาด 2.5 กิโลวัตต์ ซึ่งต้องใช้หญ้าเนเปียร์ทั้งหมด 35 กิโลกรัมสด/วัน ในการผลิดนั้นจะต้องใช้ระยะเวลาในการหมัก 30 วัน จึงจะทำให้เกิดก๊าซในปริมาณ 2.76 ลูกบาศก์เมตร/วัน ถังที่ใช้ในการหมักใช้ถังขนาด 200 ลิตร สำหรับถังวัดแก๊สและถังพักแก๊สใช้ถังขนาด 120 ลิตร เปรียบเทียบระหว่างต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์กับการซื้อไฟจากการไฟฟ้า จะพบว่าราคาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 1.18 บาท/หน่วย ถูกกว่าการซื้อไฟจากการไฟฟ้า 2.8152 บาท/หน่วย หมายความว่าจะสามารถประหยัดไปได้ถึง 84.456 บาท/วัน โดยเราจะแยกวิเคราะห์เป็น 2 กรณี กรีณีแรกคือใช้ไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นเองแบบไม่แบ่งขายให้กับการไฟฟ้า สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาประมาณ 853 วัน หรือประมาณ 2 ปี 4 เดือน และในกรณีที่สองคือกรณีขายไฟที่เหลือจากการใช้งานให้กับการไฟฟ้า ในกรณีนี้จะแยกออกเป็นแบบกู้ยืมเงิน จะได้กำไรต่อปีเท่ากับ 19,166.6 บาท ซึ่งสามารถคืนทุนได้ภายใน 4 ปี และแบบไม่มีการกู้ยืมเงิน จะได้กำไรต่อปีเท่ากับ 24,293 บาท ซึ่งสามารถคืนทุนได้ภายใน 3 ปี

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ หญ้าเนเปียร์

RESEARCH AND DESIGN BIOGAS OF THE 2.5 kW ELECTRIC POWER FROM NAPIER GRASS FOR HOUSEHOLD

Academic Year 2016

By

Miss Saovanee Udomsin

Miss Weeraprapa Rean-aree

Advisor

Dr.Komkrit Prasertwong

Abstract

This engineering project aims to research and design Biogas production system from Napier grass to produce 2.5 kW electricity for household, which has been studied and collected from various researches for the Biogas production system. The results of Biogas production system from Napier grass to produce 2.5 kW electricity, which requires a total of 35 kg of Napier grass per day. In the production, it takes 30 days to produce 2.76 cubic meters of gas per day. The tanks used in the fermentation used a 200 liter tank. For storage tank and a gas tank used a 120 liter tank, compare between cost of electricity from Napier gas and purchase the electricity from PEA. We found the cost of electricity production is 1.18 baht per unit it's cheaper than purchasing electricity from PEA 2.8152 baht per unit, that's mean it can save up money 84.456 baht per day. We will analyze in two cases. The first is the use of self-generated electricity, not sold to the electricity. The payback period is approximately 853 days, or about 2 years and 4 months, and in the second case is the case of selling the remaining electricity from use to the electricity In this case, In this case can be separated into. In case of loans, the profit will be 19,166.6 baht per year, which can be repaid within 4 years and in case of no loans the annual profit is 24,293 baht, which can pay back within 3 years.

Keywords: Biogas, Napier grass

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้วิศวกรรมนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน คณะผู้จักทำโครงงานขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.คมกฤช ประเสริฐวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจแก้ไขความเรียบร้อย ตลอดจนการชี้แนะในการหาคำตอบในปัญหาต่าง ๆ ระหว่างจัดทำโครงงานนี้ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณผู้บริหารและพนักงานทุกคนของบริษัทตัวอย่าง ที่ทางคณะผู้จัดทำได้เขาไปศึกษาวิจัยที่ท่านได้ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูล ความช่วยเหลือ และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ให้กับคณะผู้จัดทำโครงงาน ทางคณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ท้ายที่สุดนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณทุกคนในครวบครัวที่ให้การสนับสนุนให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานวิศวกรรมนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจนำไปศึกษาไม่มากก็น้อยต่อไป ความดีและประโยชน์ใด ๆจากโครงงานวิศวกรรมนี้ ขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาทั้งหมด

คณะผู้จัดทำโครงงาน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
รายการสัญลักษณ์	ฎ
ประมวลคำย่อ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หญ้าเนเปียร์	3
2.1.1 ประวัติของหญ้าเนเปียร์	3
2.1.2 ลักษณะทางพฤษศาสตร์	3
2.1.3 พันธุ์หญ้าเนเปียร์	4
2.2 อัตราผลผลิตต่อไร่ของหญ้าเนเปียร์	5
2.3 ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน	6
2.4 การเก็บเกี่ยวและการย่อยหญ้าเนเปียร์	8
2.4.1 การเก็บเกี่ยว	8
2.4.2 การย่อยขนาด	8
2.5 ประโยชน์หญ้าเนเปียร์	9
2.6 คุณสมบัติที่ดีของหญ้าเนเปียร์	10

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 ข้อจำกัดหญ้าเนเปียร์	11
2.8 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	11
2.9 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ	11
2.9.1 การย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน	12
2.9.2 กระบวนการย่อยสลาย	13
2.9.3 การเกิดมีเทนจากสับสเตรท	16
2.9.4 แบคทีเรียผลิตก๊าซชีวภาพ	17
2.10 เทคโนโลยีเบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน	18
2.10.1 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพพืชพลังงาน	18
2.10.2 ตัวอย่างเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพืชพลังงาน	23
2.11 การนำก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า	33
2.11.1 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก	33
2.11.2 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์เบนซินดัดแปลง	33
2.11.3 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลง	34
2.11.4 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ	35
2.12 การลิตพลังงานร่วม	35
2.13 ทางเลือกการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานกับมูลค่าพลังงาน	36
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	37
3.1 ขั้นตอนการออกแบบ	37
3.2 แผนการดำเนินงานการจำลองการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ	39
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	41
4.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	41
4.2 วิเคราะห์การลงทุนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	41
4.2.1 กำลังการผลิต	41
4.2.2 วัตถุดิบ	42
4.2.3 ระยะเวลาในการคืนทุน	43

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.4 การลงทุนในระบบกรณีการกู้ยืม	45
4.2.5 การลงทุนในระบบกรณีไม่ได้ทำการกู้ยืม	49
4.2.6 ความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้าใช้เองในครัวเรือน	50
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	51
5.1 สรุปผล	51
5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก ก การผลิตก๊าซชีวภาพ	55
ภาคผนวก ข ระบบผลิตไฟฟ้า	79
ภาคผนวก ค ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	83
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การประเมินอัตราก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานจากวัตถุดิบที่มีค่าความชื้นต่างๆ	6
2.2 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์เปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดต่างๆ	7
2.3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของหญ้าเนเปียร์	10
2.4 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	11
2.5 มูลค่าของก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. เมื่อนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน	36
4.1 ข้อมูลวัตถุดิบที่เข้าและออกจากระบบก๊าซชีวภาพ	42
4.2 คำนวณพลังงาน	42
4.3 ข้อมูลการเดินระบบผลิตไฟฟ้าขนาด 2.5 กิโลวัตต์	43
4.4 ต้นทุนในการก่อสร้าง	43
4.5 ต้นทุนวัตถุดิบ	44
4.6 การลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีเมื่อมีการกู้เงินจากธนาคาร	46
4.7 จำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในครัวเรือน	47
4.8 เปรียบเทียบรายรับ-รายจ่าย	49
4.9 เปรียบเทียบรายรับ-รายจ่ายกรณีไม่กู้ยืมเงิน	49
ข-1 รายละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	79
ค-1 กำหนดค่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์อ้างอิงของ VSPP ตามชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไฟฟ้า	90

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์	8
2.2 วิธีการย่อยขนาด	9
2.3 แสดงกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ	12
2.4 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ	15
2.5 ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ CSTR	19
2.6 ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ CSTR และ Anaerobic contact	20
2.7 แสดงส่วนประกอบของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	23
2.8 Material Flow Diagramระบบก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานกลุ่มบริษัท Biteco Group	24
2.9 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของ Vircava ประเทศ LATVIA ขนาด 30 ตัน/วัน ขนาดถัง 2400 ลบ.ม. และ 1400 ลบ.ม. ผลิตความร้อน 560 กิโลวัตต์ ปี พ.ศ.2554	25
2.10 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ประเทศ LATVIA ขนาด 30 ตัน/วัน ขนาดถัง 3600 ลบ.ม. จำนวน 2 ถัง ผลิตความร้อน 1000 กิโลวัตต์ ปี พ.ศ.2554	26
2.11 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ประเทศ UKRAINE ขนาด 10 ตัน/วัน(หญ้าเนเปียร์) ขนาดถัง 1200 ลบ.ม. ผลิตก๊าซชีวภาพ 500 ลบ.ม. ผลิตความร้อน 140 กิโลวัตต์ ปี พ.ศ. 2553	26
2.12 เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานจากกลุ่มบริษัท ZOEG Biogas	27
2.13 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานจาก SEBIGAS	28
2.14 Mass balance ระบบก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน ของบริษัท SEBIGAS แบบที่ 1	29
2.15 Mass balance ระบบก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน ของบริษัท SEBIGAS แบบที่ 2	30
2.16 Mass balance ระบบก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน ของบริษัท SEBIGAS แบบที่ 3	31
2.17 Mass balance ระบบก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน ของบริษัท SEBIGAS แบบที่ 4	32
2.18 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (แบบเชื้อเพลิงคู่)	33
2.19 เครื่องยนต์เบนซินดัดแปลง (ใช้ก๊าซชีวภาพ 100%)	33
2.20 เครื่องยนต์เบนซินดัดแปลง (ใช้ก๊าซชีวภาพ 100%) และตู้ควบคุมการทำงาน	34
2.21 เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลง (ใช้ก๊าซชีวภาพ 100%)	34
2.22 ภายในเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลง (ใช้ก๊าซชีวภาพ 100%)	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (เครื่องนำเข้า)	35
3.1 ขั้นตอนการออกแบบ	37
3.2 ขั้นตอนการออกแบบ (ต่อ)	38
3.3 แผนการดำเนินงานกสรจำลองการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ	39
3.4 แผนการดำเนินงานกสรจำลองการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ (ต่อ)	40
4.1 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ	41
ก-1 ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานครบวงจรขนาด 1 MW	56
ก-2 การประเมินการลงทุนของเทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไฟฟ้าจากหญ้าพลังงาน ขนาด 1 MW	57
ก-3 การทำอุปกรณ์การหมักและการเก็บก๊าซชีวภาพ	63
ก-4 ถังหมักก๊าซชีวภาพ	64
ก-5 ถังเก็บก๊าซชีวภาพ	64
ก-6 เทคโนโลยีที่ใช้กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	65
ก-7 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	65
ก-8 กระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบแห้ง	66
ก-9 วิธี Adsorption	66
ก-10 กระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบเปียก	67
ก-11 เทคโนโลยีการเติมอากาศ	68
ก-12 เทคโนโลยี Biofilter	68
ก-13 เทคโนโลยี Biotricklingfilter	69
ก-14 เทคโนโลยี Bioscrubber	70
ก-15 เมือก ตะกอนในระบบกำจัดและในท่อส่งก๊าซ	70
ก-16 เทคโนโลยีที่ใช้กำจัดความชื้นและละอองน้ำ	71
ก-17 ระบบ chiller	72
ก-18 ระบบการทำความเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้สารละลายน้ำ-แอมโทเนีย	72
ก-19 ระบบ Refrigerantion การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซชีวภาพกับสารทำความเย็น	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก-20 อุปกรณ์แยกน้ำออกจากก๊าซชีวภาพ	73
ก-21 แผนภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	74
ก-22 การดักจับด้วยน้ำ	75
ก-23 การดักจับโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดัน	75
ก-24 การดักจับโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดัน (ต่อ)	76
ก-25 การดักจับด้วยสารเคมี	76
ก-26 การดักจับด้วยสารเคมี (ต่อ)	77
ก-27 การแยกด้วย Membrane	77
ก-28 การแยกด้วย Membrane (ต่อ)	78
ข-1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	79
ข-2 สวิตช์การถ่ายโอนอัจฉริยะ	80

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย	หน่วย
COD	ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการ Oxidizeสารอินทรีย์ในน้ำเสีย	มิลลิกรัม/ลิตร
EFF	ประสิทธิภาพ	%
Fit	มาตรการส่งเสริมการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน	บาท/หน่วย
Ft	การลอยค่าของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่การไฟฟ้าไม่สามารถควบคุมได้	บาท/หน่วย
HRT	ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย	วัน
OLR,S_d	ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบในแต่ละวัน	ลูกบาศก์เมตร/วัน
SRT	ระยะเวลาหมัก หรือระยะเวลาในการกักเก็บ	วัน
V_D	ขนาดความจุของถังหมักก๊าซชีวภาพ	ลูกบาศก์เมตร

ประมวลคำย่อ

คำย่อ	คำอธิบาย
AF	Anaerobic Filter
CE	Conformities European
CSTR	Co-digester with Continuously Stirred
CHP	Combined Heat and Power generation
DSCR	Debt Service Coverage ratio
db	Decibel
Hz	Hertz
IOS	International Organization for Standardization
IPP	Independent Power Producer
IRR	Internal Rate of Return
kg	Kilogram
kW	Kilowatt
l	Liter
m^3	Cubic meter
ml	Milliliter
MLR	Minimum Loan Rate
mm	Millimeter
NPV	Net Present Value
SOB	Supplied Oxidizing Bacteria
SPP	Small Power Production
TS	Total solid
UASB	Up flow anaerobic sludge blanket
V	Voltage
VS	Volatile Solids
VSPP	Very Small Power Production

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัญหาพลังงานของโลก ตั้งแต่ปี 1980 ถึงปี 2004 มีความต้องพลังงานหลักเพิ่มขึ้น 54% และจะเพิ่มขึ้นด้วยสัดส่วนเดียวกันนี้ เมื่อถึงปี 2030 (จาก 469 EJ เป็น 716 EJ คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 1.6% ต่อปี) ความต้องการใช้ไฟฟ้า มีการเติบโตขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และคาดว่าจากปี 2004 ถึงปี 2030 จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (จาก 17,408 TWh เป็น 33,750 TWh โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.6% ต่อปี) ความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงมากในประเทศกำลังพัฒนา ปัจจุบัน ประชาชนราว 2 พันล้านยังไม่มีไฟฟ้าใช้ และถือเป็นกลุ่มที่ต้องให้ความสำคัญสูงเป็นลำดับต้น สหประชาชาติประมาณว่า ประชากรโลกจะเพิ่มขึ้นจาก 6.4 พันล้านคนในปี 2004 เป็น 8.1 พันล้านคน ในปี 2030 ความต้องการพลังงาน จึงยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลานั้น ทั้งการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก และความต้องการยกระดับมาตรฐานการดำรงชีวิต ของประชาชนในประเทศกำลังพัฒนา จะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ความต้องการพลังงานเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งคาดว่าจากปี 2004 ถึง ปี 2030 จะเพิ่มขึ้น 53% หรือคิดเป็นอัตรา 1.6% ต่อปีปัจจุบัน มีการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในการผลิตไฟฟ้า 16% ของการผลิตไฟฟ้าทั้งโลก โดยมาจากถ่านหิน 40% น้ำมัน 10% น้ำและพลังงานอื่นอีก 19% พลังงานนิวเคลียร์เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าในสเกลใหญ่ โดยเฉพาะการใช้เป็นพลังงานพื้นฐาน (base-load) ในการผลิตไฟฟ้า (ที่มา : http://piyawat0818.blogspot.com/)

ทางด้านประเทศไทยเองก็มีการใช้พลังงานที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ด้วยเช่นกันจากข้อมูล กฟภ. มีหน่วยจำหน่ายไฟฟ้าเดือน มีนาคม 2560 ทั้งสิ้น 11,609.50 ล้านหน่วย ขยายตัวร้อยละ 3.63 หรือ 406.37 ล้านหน่วย จากเดือนเดียวกันของปีก่อน (มี.ค.2559) และร้อยละ 19.40 จากเดือนก่อนหน้า (ก.พ.2560) จากความต้องการใช้ไฟฟ้าของ กลุ่มอุตสาหกรรม ขยายตัวร้อยละ 3.36 เพิ่มขึ้นตามปริมาณการส่งออกสินค้าที่ขยายตัวสูงถึงร้อยละ 10.8 จากระยะเดียวกันของปีก่อนหน้า จากความต้องการสินค้าหมวดยานยนต์ เหล็ก และอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความต้องการจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีการขยายกำลังการผลิตและย้ายฐานการผลิตมายังประเทศไทยเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย กลุ่มพาณิชย์ ขยายตัวร้อยละ 2.92 จากการบริโภคอุปโภคของภาคครัวเรือนที่มีจับจ่ายใช้สอยเพิ่มมากขึ้น รวมถึงการเพิ่มขึ้นของนักท่องเที่ยวต่างชาติโดยเฉพาะนักท่องเที่ยวจากจีนและมาเลเซีย กลุ่มบ้านอยู่อาศัย ขยายตัวร้อยละ 3.92 จากอุณหภูมิที่สูงขึ้นมากกว่าเดือนก่อนหน้า ส่งผลให้มีการใช้ไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นเพิ่มมากขึ้น รวมถึงการปรับตัวของความเชื่อมั่นผู้บริโภคที่ดีขึ้น และรายได้ครัวเรือนในภาคการเกษตรที่ฟื้นตัวต่อเนื่อง กลุ่มอื่น ๆ (องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร สูบน้ำเพื่อการเกษตร ไฟฟ้าชั่วคราว และไฟฟรี) ขยายตัวร้อยละ 11.75 จาก

การใช้ไฟฟ้าของหน่วยงานบริหารราชการส่วนท้องถิ่น โรงพยาบาล และการเกษตรเพิ่มมากขึ้น (ที่มา : https://www.pea.co.th/)

จากปัญหาข้างต้นที่กล่าวมานั้น เป็นปัญหาที่ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญในการหาทางเลือกในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เพราะในปัจจุบันการใช้พลังงานที่สูงขึ้นทำให้เชื้อเพลิงหลักที่มีอยู่อย่างจำกัดนั้นไม่เพียงต่อการผลิตไฟฟ้า ในโครงงานนี้จึงได้นำเสนอแนวคิดการศึกษาพลังงานทางเลือกประเภทพลังงานก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ โดยออกแบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด2.5 kW เพื่อใช้สำครัวเรือน และวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไฟฟ้าขนาด 2.5 kW

1.2.2 เพื่อออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์สำหรับครัวเรือน

1.2.3 เพื่อจำลองการหมักก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาและออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ ขนาด 2.5 kW

1.3.2 ศึกษากระบวนการสร้างก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน ประเมินความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

1.3.3 ประเมินความคุ้มค่าในการสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพในครัวเรือน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำก๊าซชีวภาพไปประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทดแทน และนำมาผลิตไฟฟ้า

1.4.2 เป็นแนวทางในการพัฒนาด้านพลังงานทดแทนจากพืชพลังงาน

1.4.3 เพิ่มความสามารถการเรียนรู้และเข้าใจในการออกแบบด้านพลังงานทดแทน

1.4.4 เป็นแนวทางในการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรในอนาคต

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หญ้าเนเปียร์

หญ้าเนเปียร์ (Napier Grass) จัดเป็นหญ้าอาหารสัตว์ที่นิยมปลูกมาก เนื่องจาก ลำต้น และใบมีขนาดใหญ่ และมีคุณค่างทางอาหารสัตว์สูง รวมถึงสามารถเติบโตเร็ว ให้ผลผลิตต่อไร่สูง สามารถเก็บเกี่ยวต้นได้ตลอดทั้งปี และเก็บเกี่ยวได้นาน 5-7 ปี ต่อการปลูก 1 ครั้ง

- วงศ์ : Gramineae
- ชื่อวิทยาศาสตร์ : Pennisetum purpureum Schumaach
- ชื่อสามัญ : – Napier Grass – Elephant Grass
- ชื่อท้องถิ่น : – หญ้าเนเปียร์
- ถิ่นกำเนิด : แถบประเทศของแอฟริกา

2.1.1 ประวัติของหญ้าเนเปียร์

หญ้าเนเปียร์ (Pennisetum purpureum) มีถิ่นกำเนิดในแถบประเทศของแอฟริกา ปัจจุบันพบปลูกแพร่กระจายทั่วโลกในแถบประเทศอบอุ่น ส่วนประเทศไทยได้นำหญ้าเนเปียร์จากประเทศมาเลเซียเข้ามาปลูกครั้งแรกในปี พ.ศ. 2472 โดย นายอาร์ พี โจนส์ และในช่วงปี พ.ศ.2504-2507 ประเทศไทยได้นำเมล็ดพันธุ์จากต่างประเทศมาปลูกอย่างต่อเนื่อง อาทิ กรมปศุสัตว์นำเข้าพันธุ์ลูกผสมจากประเทศอินเดียเข้ามาปลูก

2.1.2 ลักษณะทางพฤษศาสตร์

ราก และลำต้น หญ้าเนเปียร์ เป็นหญ้าที่มีลำต้นขนาดใหญ่ ลำต้นแตกเป็นกอหรือแตกต้นใหม่ได้ ลำต้นมีลักษณะแข็งแรง มีลำต้นสั้น ๆ บางส่วนอยู่ใต้ดิน ลำต้นเหนือดินมีลักษณะทรงกลม และตั้งตรง ขนาดลำต้น 2-2.5 เซนติเมตร สูง 2-6 เมตร ลำต้นมีลักษณะเป็นข้อปล้อง ประมาณ 15-20 ข้อ ส่วนรากมีเฉพาะระบบรากฝอยที่แตกออกจากเหง้าจำนวนมาก ใบหญ้าเนเปียร์ออกเป็นใบเดี่ยว ประกอบด้วยกาบใบที่ห่อหุ้มลำต้น และมีขนเล็ก ๆ นุ่มมือปกคลุม โดยตรงรอยต่อระหว่างกาบใบกับแผ่นใบมีลิ้นใบ ถัดมาเป็นแผ่นใบยาว แผ่นใบมีสีเขียวอ่อน ยาวประมาณ 70-100 เซนติเมตร กว้างประมาณ 2-3 เซนติเมตร แผ่นใบมีเส้นกลางใบขนาดใหญ่ ดอกหญ้าเนเปียร์ออกเป็นช่อ แบบ spike ช่อดอกมีรูปทรงกระบอก สีเหลือง ยาวประมาณ 15-22 เซนติเมตร หนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร ประกอบด้วยดอกย่อยจำนวนมาก ด้านในดอกมีเกสรตัวเมีย และตัวผู้ หญ้าเนเปียร์พบติดผลได้น้อยมาก เปลือกผล และเมล็ดหุ้มติดกัน

2.1.3 พันธุ์หญ้าเนเปียร์

2.1.3.1 หญ้าเนเปียร์ยักษ์

ชื่อสามัญ : King grass

ชื่อวิทยาศาสตร์ : P. purpureum King grass

ต้นประเทศที่นำเข้า : ประเทศอินโดนีเซีย

ปีที่นำเข้า : มกราคม 2533

ผู้นำเข้า : นายชาญชัย มณีดุล

มีลำต้นตั้งตรงสูงจากพื้นดินประมาณ 180 - 240 เซนติเมตร สามารถแตกกอได้ 20 - 25 หน่อ/ต้น แต่ละต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 - 2.5 เซนติเมตร ใบกว้าง 2-3 เซนติเมตร ยาว 70 – 90 เซนติเมตรขอบใบหนา มีลักษณะเป็นมัน มีเยื่อกันน้ำฝนที่แคบ ลักษณะเป็นขนเล็ก ๆ มีเหง้าสั้นแต่แข็งแรงระบบรากลึกจึงทนแล้งได้ดี หญ้าเนเปียร์ธรรมดาไม่ทนต่อน้ำท่วมขัง ทนทานต่อการถูกไฟเผา และบริเวณที่มีร่มเงาได้พอสมควร

2.1.3.2 หญ้าเนเปียร์แคระ

ชื่อสามัญ : Mott Dwarf Elephant Grass

ชื่อวิทยาศาสตร์: P. purpureum cv. Mott

ต้นประเทศที่นำเข้า : มหาวิทยาลัยแห่งรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา

ปีที่นำเข้า : พฤศจิกายน 2532

ผู้นำเข้า : นายวิฑูรย์ กำเนิดเพชร

มีลำต้นใต้ดินเป็นแบบเหง้า มีลักษณะทรงต้นเป็นกอพุ่มตั้งลำต้นอวบและเตี้ยกว่าหญ้าเนเปียร์ธรรมดามีความสูงประมาณ 1 - 2 เมตร มีการแตกกอดี มีสัดส่วนของใบมากกว่าส่วนของลำต้นมีสัดส่วนใบต่อต้นสูงกว่าหญ้าเนเปียร์ธรรมดา มีความน่ากินสูง สามารถทนแล้งได้ดีพอสมควรเนื่องจากมีระบบรากที่แข็งแรงหยั่งลึกลงในดิน และยังมีความสามารถดูดธาตุอาหารได้มากทำให้ได้ผลผลิตสูง

2.1.3.3 หญ้าเนเปียร์ลูกผสม ได้แก่ หญ้าบานา และ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ โดยหญ้าบานา สูง 3 - 4 เมตรเจริญเติบโตเร็ว ให้ผลผลิตสูง ลำต้นใหญ่อวบ แต่การตอบสนองต่อการให้น้ำในหน้าหนาวไม่ดีนัก จึงให้ผลผลิตต่ำในหน้าหนาว และมีขนที่ใบมาก ๆ ให้เกิดการคันเมื่อสัมผัส ในส่วนของหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีลักษณะเป็นกอและมีต้นสูง 2 - 3 เมตร เจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง และจะให้ผลผลิตสูงกว่าหญ้าเนเปียร์ธรรมดา แต่มีคุณค่าทางอาหารด้อยกว่า

2.1.3.4 หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1

ชื่อสามัญ : Pak Chong 1

ชื่อวิทยาศาสตร์: P. purpureum x pennisetum americanum

พันธุ์ดั้งเดิม : หญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าไข่มุก เป็นหญ้าเนเปียร์ลูกผสม ซึ่งเกิดจากการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าไข่มุก ลำต้นเป็นแบบตั้งตรง ทรงต้นเป็นกอค่อนข้างตรง มีระบบรากที่แข็งแรง สูงประมาณ 2-4 เมตร เจริญเติบโตเร็ว ให้ผลผลิตต่อไร่สูง โปรตีนสูง สัตว์ชอบกิน ตอบสนอง ต่อการให้น้ำและปุ๋ยดี แตกกอดี แก่ช้า ทนแล้ง ในฤดูหนาวยังเติบโตได้ดีไม่ชะงัก ไม่มีระยะพักตัว ใบและลำต้นอ่อนนุ่ม ขอบใบไม่คมไม่มีขนที่ทำให้เกิดอาการคัน ระยะออกดอกสั้น ไม่ติดเมล็ด ให้ผลผลิตตลอดทั้งปี มีปริมาณน้ำตาลในใบและลำต้นสูงทำเป็นหญ้าหมักโดยไม่จำเป็นต้องเติมสารเสริมใด ๆ ปรับตัวได้ดีในดินหลายสภาพ ไม่มีโรคและแมลงรบกวน เก็บเกี่ยวง่าย ปลูกครั้งเดียวสามารถเก็บเกี่ยวได้นานถึง 6 - 7 ปีเหมาะกับเกษตรกรที่มีพื้นที่จำกัด หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทยเจริญเติบโตได้ดีในดินหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นดินร่วนปนทราย ดินเหนียว หรือดินลูกรัง ชอบดินที่มีการระบายน้ำดีและมีความอุดมสมบูรณ์ ทนแล้ง แต่ไม่ทนน้ำท่วมขัง ต้องการน้ำฝนประมาณ 1,000 มิลลิเมตร/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าเนเปียร์สายพันธุ์อื่นทั้งในแง่โภชนาการ ความสะดวกในการตัดมาใช้ประโยชน์ พบว่า หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 เหมาะสมที่จะนำมาผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด การปลูกหญ้าเนเปียร์นั้น เนื่องจากหญ้าเนเปียร์ติดเมล็ดน้อยและมีความงอกต่ำ จึงนิยมปลูกโดยใช้ท่อนพันธุ์ หรือส่วนลำต้นที่มีรากติดอยู่ ต้นหญ้าเนเปียร์ที่จะนำมาใช้ ทำท่อนพันธุ์ ควรมาจากแปลงที่สมบูรณ์แข็งแรง มีตาที่สมบูรณ์ และมีอายุประมาณ 3 - 4 เดือน มีข้อปล้องจำนวนมากพอสมควร โดยตัดต้นชิดดินและตัดส่วนยอดออกไป ในพื้นที่ 1 ไร่ จะได้ท่อนพันธุ์หญ้าประมาณ 15 ตัน

การนำท่อนพันธุ์ไปปลูกนั้นมีสองวิธี คือ การนำท่อนพันธุ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวไปปลูกเลยและการทำให้แตกรากและยอดอ่อนก่อนนำไปปลูก ซึ่งการทำให้แตกรากและยอดอ่อนทำได้โดยนำท่อนพันธุ์ใส่ตะกร้าคลุมด้วยกระสอบป่าน หรือฟางข้าว บ่มไว้ ในที่ร่ม รดน้ำให้ชุ่มตลอดเวลาประมาณ 5 - 7 วัน เพื่อให้แตกราก และยอดอ่อนก่อนนำไปปลูก อีกทั้งยังสามารถเตรียมท่อนพันธุ์ โดยวิธีตัดท่อนพันธุ์จากกอที่มีแขนงสูงได้ประมาณ 1.5 - 3 เมตร เอาใบออกและตัดยอด แล้วนำไปฝังดินเรียงต่อกันเป็นแถวในร่องก่อนกลบดินเช่นเดียวกับการปลูกอ้อย หลังจากปลูกแล้ว 1 - 2 สัปดาห์ ยอดใหม่และรากจะแตกออกจากแต่ละข้อหรือนำท่อนพันธุ์ ไปใส่ไว้ในกระสอบป่านรดน้ำให้ชุ่มตลอดเวลาเก็บไว้ ในที่ร่มเงาประมาณ 2 สัปดาห์ จะมียอดและรากแตกออกตามข้อแล้วจึงนำไปปลูก นอกจากนี้ยังสามารถเพาะชำท่อนพันธุ์หญ้าเนเปียร์ลงในถุงประมาณ 1 - 2 เดือน แล้วนำไปปลูกได้อีกด้วย

2.2 อัตราผลผลิตต่อไร่ของหญ้าเนเปียร์

ในการพิจารณาข้อมูลการปลูกหญ้าเนเปียร์ลูกผสมประเภทต่าง ๆ จะพบว่าการให้ผลผลิตน้ำหนักสดจะมีช่วงกว้างโดยอยู่ในช่วง 40 – 100 ตันสด/ไร่/ปี หรือมากกว่านั้นในบางกรณี และมีความแปรผันตามพื้นที่เพาะปลูกและการชลประทาน เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีการปลูกหญ้าเนเปียร์ใช้เป็นพืชพลังงานในหลากหลายพื้นที่ของไทย ดังนั้นปริมาณผลผลิตที่จะนำมาทำการคำนวณเพื่อเป็นฐานในการคิดอัตรา

ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้และอัตราการรับซื้อหญ้าเนเปียร์นั้นกำหนดให้ปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดต่อไร่ที่ผลิตได้อยู่ที่ 60 ตัน/ไร่/ปี โดยมีรอบการตัดฟันประมาณ 5 ครั้ง/ปี

2.3 ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน

ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานพิจารณาได้จากอัตราการผลิตก๊าซมีเทน (CH_4) ต่อของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids หรือ VS) ทั้งนี้ความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทนของพืชพลังงานจะอยู่ที่ 120-500 ลบ.ม./ตัน ทั้งนี้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่เลือกใช้เท่ากับ 210 ลบ.ม./ตัน ซึ่งเป็นค่าการผลิตก๊าซมีเทนสำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Single Stage โดยจะทำการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นเฉลี่ย 55% อย่างไรก็ดี อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อตันหญ้าสดของหญ้านั้นจะแปรเปลี่ยนตามความชื้นและปริมาณของแข็งระเหยง่ายต่อตันหญ้าสด โดยพบว่าหญ้าที่ ทำการตัดสดจะมีค่าความชื้นอยู่ที่ 80% แต่เมื่อทำการผ่านกระบวนการขนส่งจนถึงหน้าโรงงานจะมีค่าความชื้นลดลงอยู่ที่ 70 – 75 % ทั้งนี้ในโครงการพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานครบวงจร จะทำการเลือกใช้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อตันหญ้าสดเท่ากับ 78.7 ลบ.ม./ตันหญ้าสด คิดค่าความชื้นของวัตถุดิบที่ 76% ซึ่งเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพขั้นต่ำที่สุด หากมีการกำหนดมาตรฐานช่วงการรับซื้อวัตถุดิบโดยมีค่าความชื้นอยู่ ในช่วง 70 - 75 % โดยสามารถประเมินอัตราก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานจากวัตถุดิบที่มีค่าความชื้นต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์เปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 การประเมินอัตราก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานจากวัตถุดิบที่มีค่าความชื้นต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์ความชื้นของหญ้าสด (%)	ปริมาณของแข็งระเหยง่าย/ต้นหญ้าสด (vs/ตัน)	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ต้นหญ้าสด)	ความต้องการหญ้าเนเปียร์ (ต้นหญ้าสด/วัน)	ความต้องการหญ้าเนเปียร์ (ต้นหญ้าสด/ปี)
80%	0.172	65.7	167	55.100
76%	0.206	78.7	140	46.200
70%	0.258	98.5	112	37.000

ที่มา : คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลัง, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ 2.2 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์เปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ

รายการวัตถุดิบ	เปอร์เซ็นต์ความชื้น Moisture Content of Fresh Mass (%)	สัดส่วนของแข็งระเหยง่าย (VS of Fresh Mass) (%)	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม. CH./กิโลกรัม-VS_{added})	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ตัน-Fresh $Mass_{added}$)
ปุ๋ยคอก	-	13.37	0.184	44.73
ปุ๋ยขี้หมู	-	24.84	0.13	58.71
มูลไก่	-	22.34	0.145	58.90
มูลเป็ด	-	17.44	0.186	58.98
มูลช้าง	-	21.61	0.145	56.97
ฟางข้าว	59.4	32.31	0.34	199.73
ทะลายปาล์มเปล่า	65.7	31.73	0.37	213.46
เปลือกสับปะรด	91	8.42	0.4	61.24
กากมันสำปะหลัง	81.6	18.04	0.37	121.36
ผักตบชวา	91.27	7.36	0.35	46.84
ดีแคนเตอร์เค้กของปาล์มน้ำมัน	76.7	19.43	0.37	130.71
ธูปฤาษี	85.97	12.2	0.35	77.64
ข้าวโพด	-	27.08	0.34	167.40
หญ้าเนเปียร์	79.23	21.34	0.3	116.40

หมายเหตุ : ตันหญ้าสด (VS/ตัน)

ที่มา : คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลัง, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

2.4 การเก็บเกี่ยวและการย่อยหญ้าเนเปียร์

2.4.1 การเก็บเกี่ยว

รูปที่ 2.1 การเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์

ระบบรากของหญ้า เกิดการพัฒนาเจริญเติบโตและแข็งแรงเต็มที่ ให้ตัดครั้งแรกหลังปลูกประมาณ 75 วัน จากนั้นให้ตัดทุก ๆ 45-60 วัน การตัดหญ้าทำได้โดยการใช้มีด เคียว เครื่องตัดหญ้าสะพายไหล่ เครื่องเก็บเกี่ยว Double Chopper หรือเครื่องตัดหญ้าด้วยมือ การเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์สายพันธุ์นี้ต้องตัดให้ชิดดินที่สุด เพื่อให้แตกหน่อใหม่จากใต้ดินจะทำให้มีขนาดโตอวบอ้วน แล้วจะกลายเป็นลำต้นที่สมบูรณ์ให้ผลผลิตสูง ถ้าตัดสูงเหลือข้อไว้จะมีแขนงออกมาจากข้างข้อ ลำต้นเล็กทำให้ได้ผลผลิตต่ำ การตัดหญ้าด้วยวิธีต่าง ๆ แสดงในรูป 2.1

2.4.2 การย่อยขนาด

หญ้าเนเปียร์ที่จะนำเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องทำให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับหญ้ามากขึ้นและเพื่อให้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่อยู่ในตัวหญ้าถูกย่อยสลายได้มากขึ้นโดยวิธีการตัด สับหรือบด ดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 วิธีการย่อยขนาด

2.5 ประโยชน์หญ้าเนเปียร์

2.5.1 ใช้ปลูกเพื่อเป็นอาหารสัตว์ โดยเฉพาะโคเนื้อ โคนม และกระบือ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการให้กินสด และการทำหญ้าหมัก

2.5.2 ใช้เป็นชีวมวลสำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า

2.5.3 ใช้ปลูกเป็นพืชคลุมดิน

2.5.4 ลำต้นใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ

2.5.5 ลำต้นนำมาสับ และอัดเป็นแท่งสำหรับเป็นเชื้อเพลิง

2.5.6 นำไปหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

2.5.7 หญ้าเนเปียร์ 100 กรัม มีสารอาหารดังนี้

- พลังงาน : 175.40 แคลอรี่
- โปรตีน : 7.32 กรัม
- ไขมัน : 0.99 กรัม
- คาร์โบไฮเดรต : 34.32 กรัม
- ความชื้น : 8.68 กรัม
- เถ้า : 11.51 กรัม
- กาก : 37.21 กรัม
- แคลเซียม : 247.5 มิลลิกรัม
- ฟอสฟอรัส : 203.9 มิลลิกรัม
- เหล็ก : 12.4 มิลลิกรัม

2.6 คุณสมบัติที่ดีของหญ้าเนเปียร์

– ลำต้น และใบมีขนาดใหญ่ ลำต้นเติบโตได้เร็ว และให้ผลผลิตต่อไร่สูงมาก
– มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เหมาะสำหรับเป็นอาหารหยาบเลี้ยงสัตว์
– ลำต้นแตกกอใหม่ได้เร็ว ให้ผลผลิตได้ทั้งปี และเก็บผลผลิตได้ยาวถึง 5-7 ปี
– ลำต้น และใบ มีปริมาณแป้ง และน้ำตาลสูง หากนำไปหมักอาจไม่ต้องเติมกากน้ำตาล
– ลำต้น และใบ แก่ช้า
– ลำต้น และใบมีความอ่อนนุ่ม สัตว์เคี้ยวได้ง่าย
– ไม่พบโรค และแมลงทำลาย
– ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้เล็กน้อย
– ทนต่อสภาพน้ำขังได้บ้าง
– เติบโตได้ดีในทุกสภาพดี
– ทนต่อดินเปรี้ยวได้ดี
– ทนต่อดินเค็มได้ดี
– เหมาะสำหรับการให้สัตว์กินสด และการทำหญ้าหมัก

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของหญ้าเนเปียร์

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	หญ้าเนเปียร์
คาร์โบไฮเดรต (%)	8.37
โปรตีน (%)	2.04
ไขมัน (%)	0.45
เยื่อใยรวม (%)	8.22
ความชื้น (%)	77.74
ปริมาณเถ้า (%)	3.18
ค่า pH (%)	4.85
คาร์บอน (%)	44.19
ไฮโดรเจน (%)	5.22
ออกซิเจน (%)	39.18
ไนโตรเจน (%)	0.44

ที่มา : ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 2555

2.7 ข้อจำกัดหญ้าเนเปียร์

– ไม่ค่อยทนต่อการเหยียบย่ำ

– ไม่ทนต่อสภาพน้ำขัง

– ไม่เหมาะสำหรับการทำหญ้าแห้ง เพราะลำต้น และใบมีขนาดใหญ่

2.8 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบ	ความเข้มข้น
CH_4	50-70 %(v/v)
CO_2	20-50 %(v/v)
H_2O (vapor)	0-10 %(v/v)
N_2	0-5 %(v/v)
O_2	0-2 %(v/v)
NH_3	0-1 %(v/v)
H_2S	50-10,000 ppm

ที่มา : Profiting from the use of biogas the panvita case, Roland Tusar, www.intering.si

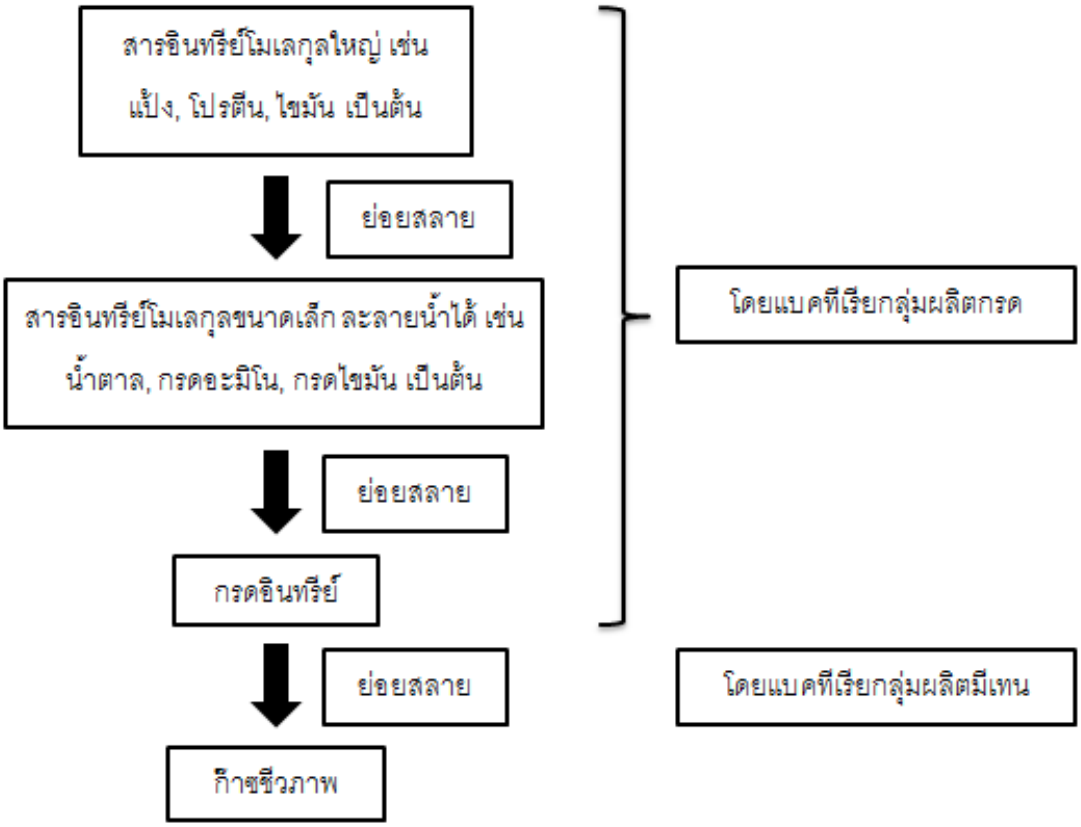
หมายเหตุ : ในตารางนี้ยังไม่ได้รวมสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ที่มีในก๊าซชีวภาพ เช่น ไซลอกเซนโฟม คราบตะกอนต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อน เหล่านี้ มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสีย และการผลิตก๊าซชีวภาพ

2.9 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) หมายถึง ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศด้วยแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด* (Acid forming bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน(Methane producing bacteria) โดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็กลง จากนั้นแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนจะใช้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็กเป็นสารอาหารและย่อยสลายให้ผลผลิตหลักเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยมีก๊าซอื่นๆ เกิดขึ้นในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า และก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) เป็นต้น กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพต้องระวังไม่ให้อากาศเข้าไปสัมผัสกับแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน เพราะจะทำให้

ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนลดลง ก๊าซชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เมื่อมีแบคทีเรียสารอินทรีย์และอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในสภาวะที่ไม่มีอากาศในธรรมชาตินั้นก๊าซชีวภาพมักจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีการหมักเช่น ก้นบ่อ ก้นแม่น้ำ ก้นทะเลสาบ หนองน้ำบึงและนาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง เป็นต้น กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพแสดงได้ตามรูปที่ 2.3

* ในที่นี้ กรดหมายถึง กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid)



รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

2.9.1. การย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนเป็นกระบวนการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ดังสมการ

$$\text{อินทรีย์สาร} + \text{จุลินทรีย์} = CH_4 + CO_2 + NH_3 + H_2 + H_2S \qquad (2\text{-}1)$$

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดโดยประมาณจากทฤษฎี

1. สารคาร์โบไฮเดรต เกิดก๊าซมีเทน 50% คาร์บอนไดออกไซด์ 50%

$$C_6H_{12}O_6 = 3CO_2 + 3CH_4 \quad (2\text{-}2)$$

2. โปรตีน เกิดก๊าซมีเทน 70-71% คาร์บอนไดออกไซด์ 29-30%

$$C_{13}H_{25}O_7N_3S + 6H_2O = 6.5CO_2 + 6.5CH_4 + 3NH_3 + H_2S \quad (2\text{-}3)$$

3. ไขมัน เกิดก๊าซมีเทน 67-68% คาร์บอนไดออกไซด์ 32-33%

$$C_{12}H_{24}O_6 + 3H_2O = 4.5CO_2 + 7.5CH_4 \quad (2\text{-}4)$$

2.9.2 กระบวนการย่อยสลาย

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis) เป็นขั้นตอนการย่อยสารโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ไปเป็น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก กรดแลกติก และเอทธานอล เป็นต้น ปฏิกิริยามีปัจจัยหลายอย่างมากเกี่ยวข้อง เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ จำนวนแบคทีเรีย ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ สารพิษต่าง ๆ เป็นต้น

คาร์โบไฮเดรต = น้ำตาล + แอลกอฮอล์

โปรตีน = เพปไทด์ + กรดอะมิโน

ไขมัน = กลีเซอรอล + กรดไขมัน

ขั้นตอนที่ 2 เป็นกระบวนการหมักกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ไปเป็นกรดอะซิติคหรือฟอร์เมท และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น ปฏิกิริยานการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ และแอลกอฮอล์ไปเป็นกรดอะซิติก และไฮโดรเจน ดังสมการ

$$CH_3CH_2OH \text{ (ethanol)} + H_2O = CH_3COOH \text{ (acetic acid)} + 2H_2 \quad (2\text{-}5)$$

$$CH_3CH_2COOH \text{ (propionic acid)} + 2H_2O = CH_3COOH \text{ (acetic acid)} + 3H_2 + CO_2 \quad (2\text{-}6)$$

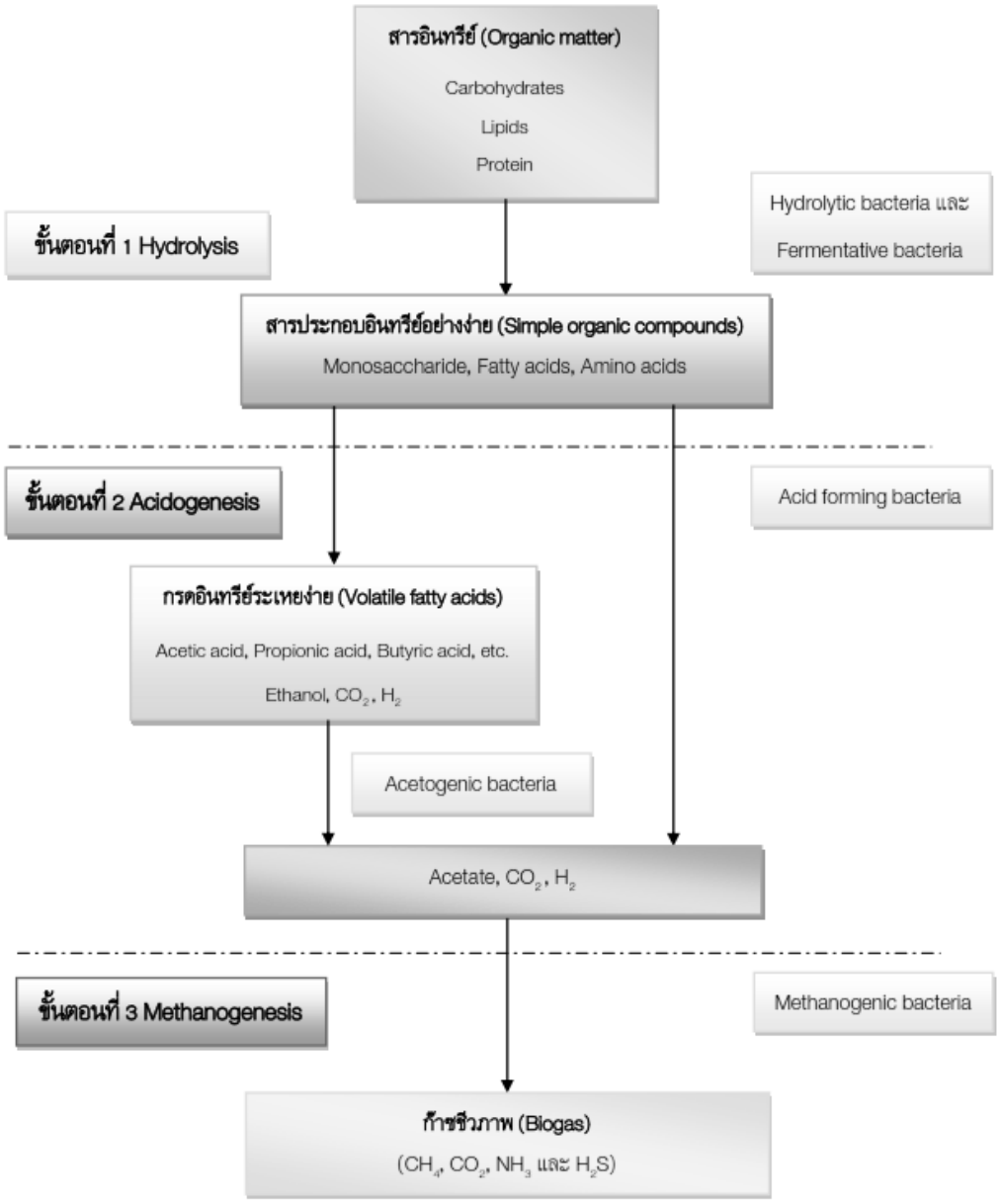
$$CH_3CH_2CH_2COOH \text{ (butyric acid)} + 2H_2O = 2CH_3COOH \text{ (acetic acid)} + 2H_2 \quad (2\text{-}7)$$

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างมีเทน (Methanogenesis) เป็นขั้นสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะย่อยอะซิเตทฟอร์เมทเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนบางส่วน โดยปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะมาจากกระบวนการนี้ ปฏิกิริยาอื่นๆที่เกิด ได้แก่ ปฏิกิริยารีดักชั่นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทนบางส่วนสามารถเกิดได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดอะซิติก ได้ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

$$CH_3COOH \text{ (acetic)} \; CH_4 + CO_2 \quad (2\text{-}8)$$

รวมถึงปฏิกิริยารีดักชั่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซไฮโดรเจนไปเป็นก๊าซมีเทน ดังสมการ

$$CO_2 + 4H_2 \; CH_4 + 2H_2O \quad (2\text{-}9)$$



รูปที่ 2.4 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ

ที่มา : Breure, A.M. an Andel, J.G., 1987

2.9.3 การเกิดมีเทนจากสับสเตรท

ปฏิกิริยาการเกิดมีเทน แบ่งออกเป็น 3 ปฏิกิริยา (ภาวินี ชัยประเสริฐ, 2541 : 9) คือ

– การเกิดมีเทนจากกระบวนการ Decarboxylation ของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย

– การเกิดมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน

– การเกิดมีเทนจากสารประกอบอินทรีย์เชิงเดี่ยวอื่น ๆ

2.9.3.1 มีเทนจากกระบวนการ Decarboxylation ของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายทุกชนิดจะถูกย่อยสลายเป็นกรดอะซิติกแล้วเปลี่ยนเป็นมีเทน ดังสมการ

$$CH_3COOH\ (acetic) = CH_4 + CO_2 \qquad (2\text{-}10)$$

โดย 1 โมลของกรดอะซิติกจะได้ 1 โมลของมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมล การย่อยสลายกรดโพรพิโอนิกไปเป็นกรดอะซิติกและมีเทน

$$CH_3CH_2COOH + 0.5\ H_2O = CH_3COOH + 0.25\ CO_2 + 0.75CH_4 \qquad (2\text{-}11)$$

$$CH_3COOH = CH_4 + CO_2 \qquad (2\text{-}12)$$

แต่กรดโพรพิโอนิกมีความสามารถยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ทั้งชนิด Methanogenic และ Fermentative Bacteria

2.9.3.2 มีเทนจากปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน

การเกิดมีเทนจากสารเหล่านี้ แสดงดังสมการ

$$CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O \qquad (2\text{-}13)$$

2.9.3.3 มีเทนจากสารอินทรีย์เชิงเดี่ยวชนิดอื่น

การเกิดมีเทนของรูปแบบนี้เกิดจากสารอินทรีย์เชิงเดี่ยวอื่น ๆ ยกตัวอย่าง เช่น Methanol

$$4CH_3OH = 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O \quad (2\text{-}14)$$

2.9.4 แบคทีเรียผลิตก๊าซชีวภาพ

2.9.4.1 Hydrolytic Bacteria เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง เช่น ย่อยสลายโปรตีน เซลลูโลส ลิกนิน และไขมัน ไปเป็นสารโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดอะมิโน กรดไขมัน กลูโคส และกลีเซอรอล สำหรับสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของลิกนิน เช่น พืชต่าง ๆ จะเกิดการย่อยสลายได้ช้ากว่าสารอินทรีย์ที่ได้จากมูลสัตว์

2.9.4.2 Acidogenic Bacteria ซึ่ง Acidogenic หรือ acid foming bacteria เป็นแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารย่อยสลายสารจำพวกน้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันให้เป็นกรดอะซิเตท ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน

2.9.4.3 Acetogenic Bacteria แบคทีเรียชนิดนี้สามารถย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและแอลกอฮอล์ได้เป็นอะซิเตท ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน แบคทีเรียกลุ่มนี้ต้องการสภาวะที่มีความดันย่อยของไฮโดรเจน (H_2 partial pressure) ความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจนที่สูงมีผลทำให้ปริมาณการเกิดกรดอะซิเตทลดลง โดยสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดโพรไพโอนิก บิวทีริก และเอทานอลเพิ่มขึ้นทำให้ระบบมีค่าพีเอชลดลงไม่เหมาะสมสำหรับ Acetogenic แต่แบคทีเรีย Methanogens สามารถดึงไฮโดรเจนไปใช้งานได้ ทำให้มีค่าความดันย่อยของไฮโดรเจนลดลง

2.9.4.4 Methanogenic Bacteriaแบคทีเรียกลุ่ม methanogenic Bacteria เป็นกลุ่มที่พบได้ที่ชั้นตะกอนของแม่น้ำลำคลอง หรือกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีทั้งชนิดแกรมบวก และแกรมลบ แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ

– Hydrogentrophic Methanogens หรือ hydrogen utilizing chemolithotrophs เป็นกลุ่มที่สามารถเปลี่ยนไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซมีเทน ดังสมการ ถือเป็นกลุ่มที่ทำหน้าที่ลดความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจนในระบบเพื่อให้เอื้อต่อแบคทีเรียกลุ่มอื่น ๆ

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

– Acetotrophic Methanogens หรือ acetate splitting bacteria เป็นกลุ่มที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอะซิเตทเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

$$CH_3COOH \; CH_4 + CO_2 \qquad (2\text{-}16)$$

2.10 เทคโนโลยีเบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน (หญ้าเนเปียร์)

2.10.1 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน (หญ้าเนเปียร์)

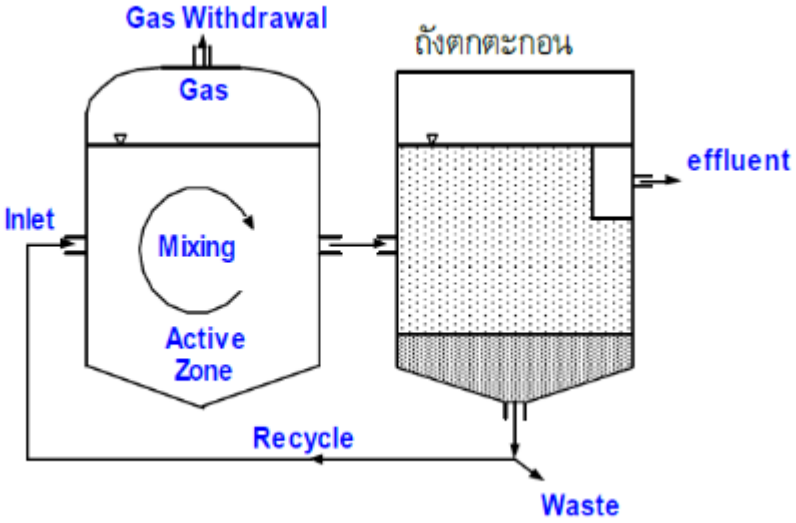
เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพแบบครบวงจร คือ ต้องเป็นเทคโนโลยีที่มีการผสมร่วมกันระหว่างหญ้าเปียร์และวัตถุดิบทางเลือกอื่น เช่น มูลสัตว์ น้ำเสีย/ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยที่คุณภาพของก๊าซชีวภาพที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของน้ำเสีย/ของเสียที่ผสมร่วมกับหญ้าเนเปียร์นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับวิธีการผสมและการควบคุมด้านชีวภาพอื่น ๆ อีกด้วย โดยทั่วไปปริมาณก๊าซชีวภาพจะมีค่าสูงก็ต่อเมื่อค่าซีโอดีในน้ำเสียหรือวัตถุดิบต้องมีค่าสูง มีการควบคุมความร้อนและมีการปั่นหรือกวนน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับน้ำเสีย/ของเสียรวมกับหญ้าเนเปียร์ผสมกันที่มีความเข้มข้นสูง คือถังปฏิกรณ์ร่วมแบบกวนสมบูรณ์ ระบบบ่อหมักแบบแห้ง และระบบบ่อหมักแบบเปียก

2.10.1.1 ถังปฏิกรณ์ร่วมแบบกวนสมบูรณ์

ถังปฏิกรณ์ร่วมแบบกวนสมบูรณ์ หรือ Co-digester with Continuously Stirred Tank Reactor; CSTR) ถังปฏิกรณ์ในรูปแบบนี้ เป็นถังปฏิกรณ์ที่ของเหลวและของแข็งภายในถังเกิดการกวนผสมอย่างดีวิธีการกวนผสมมักทำโดยการติดตั้งใบกวน ซึ่งใบกวนที่ใช้จะมีรูปทรงต่าง ๆ เช่น แบบ Paddle แบบ Impeller หรือสกรู (Screw) การติดตั้งใบกวนอาจจะมีทั้งการติดตั้งในแนวดิ่ง แนวราบ หรือแนวเอียง อย่างไรก็ตามการกวนด้วยใบกวนนั้นมักจะมีปัญหาเรื่องการบำรุงรักษา ดังนั้นจึงมีการใช้ปั๊มของเหลวหมุนวน หรือการปั๊มก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นวนกลับเข้ามาในถังผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อช่วยในการกวนผสม ในการหมุนวนน้ำเสียหรือก๊าซชีวภาพ (Gas diffuser) ที่เกิดขึ้นโดยใช้หัวพ่น (Jet mixer) กรณีของการใช้ปั๊มเพื่อหมุนวนของเหลวหรือก๊าซเพื่อกวนผสมนี้ อาจจะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการกวนด้วยใบกวน แต่จะช่วยลดปัญหาเรื่องการบำรุงรักษาใบกวนภายในถังปฏิกรณ์ได้ โดยหลักการแล้วการกวนผสมที่เกิดขึ้น ทำให้ภายในถังปฏิกรณ์มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์และเชื้อจุลินทรีย์เท่ากันทั่วทั้งถัง (Completely mixed) ทำให้มีการสัมผัสระหว่างจุลินทรีย์ และสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ได้ดี ปฏิกิริยาการย่อยสลายจึงเกิดได้ดี รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ (Continuously Stirred Tank Reactor ; CSTR) และรูปที่ 2.6 แสดงลักษณะถังปฏิกรณ์แบบ Anaerobic Contact (AC) ซึ่งก็คือ ถัง

กวนสมบูรณ์ที่เพิ่มถังตกตะกอนจุลินทรีย์เพื่อนำเชื้อจุลินทรีย์กลับเข้าในถังปฏิกรณ์หลักอีก เป็นการรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบไว้รายละเอียดจุดเด่นและข้อจำกัด ตลอดจนปัญหาอุปสรรคในด้านการใช้งานของถังปฏิกรณ์ในรูปแบบนี้คือ จุดเด่นของถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์และ Anaerobic contact ด้วยรูปแบบของถังกวนสมบูรณ์ ทำให้การกวนผสมของสารอินทรีย์และจุลินทรีย์ภายในถังเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เหมาะกับน้ำเสียหรือของเสียที่มีความเข้มข้นของของแข็งสูง จึงสามารถป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง (High concentration) ได้และหากน้ำเสียนั้นมีสารแขวนลอยสูง (High suspended solid content) ก็ไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนแยกตะกอนออกมาก่อนเข้าถังปฏิกรณ์

รูปที่ 2.5 ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (Continuously Stirred Tank Reactor; CSTR)



รูปที่ 2.6 ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (Continuously Stirred Tank Reactor และ Anaerobic Contact)

ช่วยลดการเกิดปัญหาในกรณีที่มีการปนเปื้อนของสารที่มีผลยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ เช่น กรณีน้ำเสียที่มีสารพิษเป็นองค์ประกอบในน้ำเสีย ใน Solid digester, ขยะมูลฝอย, ของเสียจากฟาร์ม, น้ำเสียจากเอทานอล เป็นต้น แต่เนื่องจากการกวนผสมภายในถังเป็นไปอย่างสม่ำเสมอจึงจะมีการเจือจางความเข้มข้นของสารเหล่านี้ได้ การตรวจวัดและควบคุมระบบไม่ยุ่งยากซับซ้อน เพียงแต่ต้องให้เกิดการกวนผสมสมบูรณ์จริง (Completely mixed) และไม่เกิด Dead zone ตรงจุดที่การกวนเข้าไม่ถึงซึ่งมีผลทำให้เกิดการตกตะกอนของ ของแข็งและส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ ข้อจำกัดและอุปสรรคของถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์และ Anaerobic Contact

เนื่องจากความเข้มข้นภายในถังเท่ากัน ดังนั้นระยะเวลากักเก็บของแข็ง (Solid Retention Time ; SRT) ซึ่งรวมถึงเชื้อจุลินทรีย์ในถังจะเท่ากับระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time; HRT) ทำให้ต้องออกแบบถังปฏิกรณ์ให้มีขนาดใหญ่ ถ้าของเสียหรือน้ำเสียนั้นเป็นวัตถุดิบย่อยสลายได้ยากความเข้มข้นของแข็งในถังไม่ควรเกิน 10% TS (โดยทั่วไปจะรักษาอยู่ที่ไม่เกิน 5% TS) เนื่องจากหากความเข้มข้นของแข็งสูง จะไม่สามารถทำให้เกิดการกวนผสมที่ดีได้ปัญหาเชื้อจุลินทรีย์ในระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้าหาก SRT และ HRT ไม่สูงพอที่จะให้จุลินทรีย์ในกลุ่มสร้างมีเทน ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้า สามารถเจริญเติบโต และเพิ่มปริมาณได้มากเทียบเท่ากับที่หลุดออกจากระบบไปกับน้ำเสียขาออก (Wash out) ซึ่งอาจแก้ปัญหาโดยการมีถังตกตะกอนซึ่งเรียกว่า Anaerobic Contact; AC เพื่อวนตะกอนจุลินทรีย์กลับเข้ามาในถัง แต่ในกรณีนี้ต้องมีระบบแยกก๊าซ (Degasing) ออกก่อนที่จะเข้าถังตกตะกอน จากการที่ถังปฏิกรณ์มีลักษณะการกวนผสมภายในถัง ทำให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และเชื้อจุลินทรีย์เท่ากันทุกจุด ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้น้ำเสียที่ออกจากระบบและตะกอนจุลินทรีย์ที่

หลุดออกมายังคงมีค่าความสกปรกสูงอยู่ ไม่สามารถปล่อยทิ้งได้โดยตรงทำให้ยังคงต้องทำการบำบัดด้วยระบบบำบัดขั้นต่อไป ทั้งนี้สำหรับการมีระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศรูปแบบ Two-stage reactor อาจจะใช้ CSRT เป็นถังปฏิกรณ์ใบแรก (1st stage AD reactor) มักพบปัญหาเรื่องการชำรุดของอุปกรณ์ใบกวนอยู่เป็นประจำ ดังนั้นจึงต้องการการดูแลและซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ

2.10.1.2 ระบบบ่อหมักแบบแห้ง

ระบบบ่อหมักแบบแห้ง หรือ Dry digestion process เป็นระบบที่ถูกเสนอและอธิบายหลักการทำงานของโครงการต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน ประกอบด้วย dry continuous digestion process, dry batch digestion process และ leach-bed digestion process ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละระบบดังนี้

• Dry Continuous Digestion Process

เป็นระบบที่มีการป้อนสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงประมาณร้อยละ 20-40 เข้าสู่ถังหมัก (digester) อย่างต่อเนื่อง และมีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบน้อยมาก โดยถังหมักอาจมีลักษณะเป็นแบบถังกวนสมบูรณ์ หรือเป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล (plug-flow digester) ก็ได้ ในการหมักจะมีการหมุนเวียนเอาตะกอนเหลวที่ย่อยสลายแล้ว (Digestate) มาใช้เป็นกล้าเชื้อ (inoculums/seed) สำหรับเติมเชื้อจุลินทรีย์ให้กับสารอินทรีย์ที่ถูกป้อนเข้าไปใหม่ และเนื่องจากระบบนี้ต้องการใช้น้ำน้อยมาก ทำให้ได้สมดุลของพลังงานความร้อนที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ เหมาะสมสำหรับการเดินระบบที่อุณหภูมิระดับสูง (Thermophilic digestion temperature)

• Dry Batch Digestion Process

เป็นระบบที่มีการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักแบบกะ (batch) แล้วทำการเติมกล้าเชื้อซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้วจากการหมักครั้งก่อนเข้าไปในถังหมัก จากนั้นจะปิดถังหมักให้สนิทแล้วปล่อยให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งทำให้เกิดน้ำชะสารอินทรีย์ที่ไหลลงสู่ก้นถัง ซึ่งน้ำชะสารอินทรีย์จะถูกระบบหมุนเวียนกลับขึ้นไปฉีดพ่นสารอินทรีย์ที่อยู่ส่วนบน เพื่อรักษาความชุ่มชื้นให้ทั่วถึง พร้อมทั้งเป็นการแพร่กระจายกรดไขมันระเหยง่าย รวมทั้งเป็นการกระจายแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนให้ได้สัมผัสกับสารอินทรีย์ที่อยู่ในถังหมักอย่างทั่วถึงอีกด้วย เมื่อการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว ระบบนี้จะมีถังสำหรับนำวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้วออกไปและถังสำหรับเติมสารอินทรีย์ ข้อดีของระบบนี้ คือ การลดขั้นตอนการเตรียมสารอินทรีย์ และลดจำนวนเครื่องจักรกลที่ใช้ในการเดินระบบ แต่จะมีข้อเสีย คือ ปริมาณแก๊สมีเทนที่ได้จะไม่คงที่และจะต้องมีการบำบัดครั้งหลัง (post treatment/back-end treatment) สำหรับปรับปรุงคุณภาพของวัสดุปรับปรุงดิน

• Leach-bed digestion process

เป็นระบบการหมักที่มีหลักในการออกแบบโดยทั่วไปคล้ายคลึงกับ dry batch digestion process แต่จะมีข้อแตกต่างกัน คือ มีการแลกเปลี่ยนน้ำจากถังหมักถังแรกที่เกิดกระบวนการย่อยสายแล้วไปยังถังหมักใหม่ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายและเป็นการเติมกล้าเชื้อในถังหมักใหม่ รวมทั้งเป็นการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายบางส่วนจากถังหมักใบแรกเพื่อป้องกันการเกิดสภาวะเปรี้ยว (sour condition) ซึ่งอาจยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ซึ่งระบบจะดำเนินไปเช่นนี้จนกระทั่งในถังหมักใหม่เริ่มมีแก๊สมีเทนจึงเกิดการหยุดหมุนเวียนน้ำชะสารอินทรีย์จากถังหมักใบแรก แต่จะหมุนเวียนน้ำชะสารอินทรีย์จากถังหมักใบที่สองไปยังถังหมักต่อไปอีก ซึ่งหลักการดังกล่าวอาจจะเรียกว่า การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบต่อเนื่อง (Sequential Batch Anaerobic Composting)

2.10.1.3 ระบบบ่อหมักแบบเปียก (wet digestion process)

ระบบบ่อหมักแบบเปียก หรือ Wet digestion process เป็นระบบที่ถูกเสนอและอธิบายหลักการทำงานของโครงการต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน ประกอบด้วย wetcontinuous digestion process (single-stage digestion process) และ multi stage wet digestion process ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละระบบดังนี้

• Single-stage wet digestion process

เป็นระบบการหมักที่มีการเติมน้ำปริมาณมากเข้าสู่ระบบ โดยจะป้อนสารอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นตะกอนเหลว (Slurry) ซึ่งมีปริมาณของแข็ง (Solid content) อยู่ประมาณร้อยละ 10 เข้าสู่ถังหมักซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบบถังกวนสมบูรณ์ โดยการหมักแบบนี้จะต้องมีขั้นตอนการเตรียมสารอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ เมื่อของเหลวผ่านการย่อยสลายแบบสมบูรณ์จะต้องมีการแยกส่วนที่มีน้ำออกไป (dewatering) โดยใช้อุปกรณ์ประเภท filter press หรือ screw press แล้วทำการหมุนเวียนน้ำในระบบต่อไป เพื่อลดภาระการกำจัดน้ำส่วนเกินเป็นปริมาณมาก

• Multi-stage wet digestion process

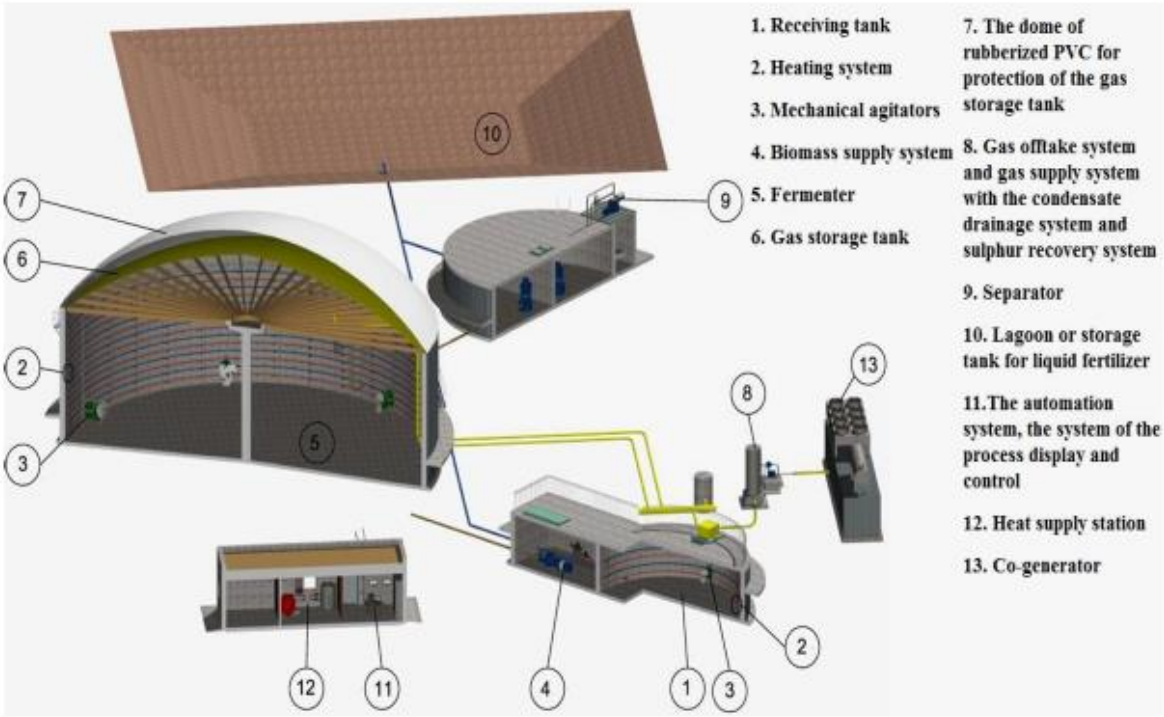
เป็นระบบการหมักซึ่งสารอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการเตรียมสภาพเรียบร้อยแล้วถูกป้อนเข้าสู่ถังหมักกรด ที่ซึ่งมีจุลินทรีย์พวก hydrolytic bacteria และ fermentative bacteria ซึ่งทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเปลี่ยนให้เป็นกรดไขมันระเหยง่ายก่อนที่จะถูกส่งไปยังถังหมักแก๊ส (Methanogenic Fermenter) ซึ่งมีแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน (Methanogenic Bacteria) ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายให้กลายเป็นแก๊สมีเทน โดยถังหมักแก๊สในระบบนี้อาจจะเป็นระบบ Anaerobic Filter (AF) หรือ Upflow anaerobic sludge blanket (UASB) ก็ได้ ซึ่งการออกแบบระบบจะทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์แต่ละประเภท ซึ่งจะทำให้ได้ผลผลิตแก๊สมีเทนสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ระบบ Multi-stage Wet Digestion Process มักจะมีความยุ่งยากซับซ้อนในการเดินระบบมากกว่า Single-stage Anaerobic Digestion Process

2.10.2 ตัวอย่างเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพืชพลังงาน (หญ้าเนเปียร์)

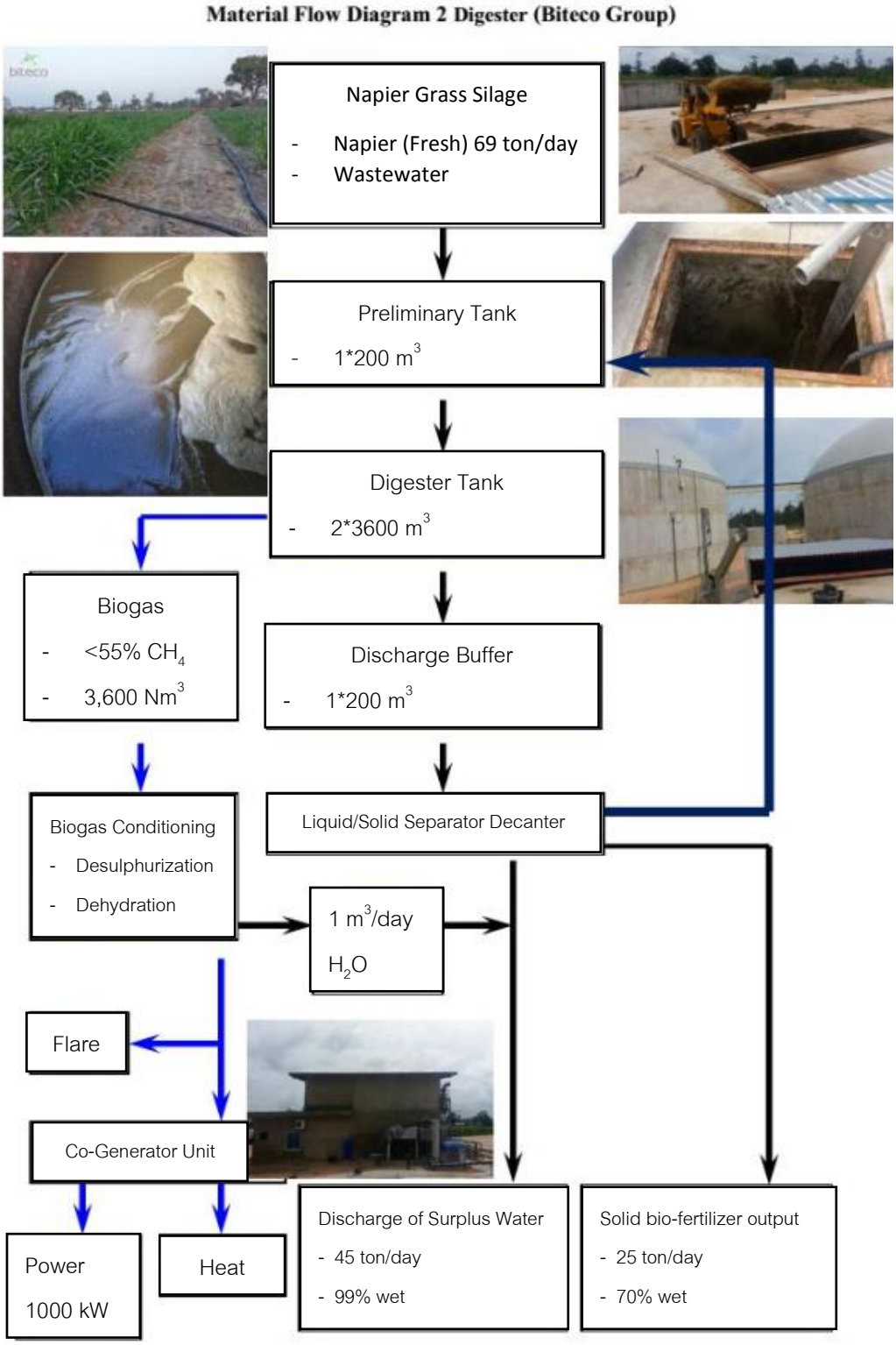
เทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน (หญ้าเนเปียร์) จากข้อมูลสืบค้น โดยพิจารณาจากบริษัทที่เป็นที่ปรึกษาออกแบบก่อสร้างและดำเนินการผลิตก๊าซชีวภาพมีวัตถุดิบหลักจากพืชพลังงาน(หญ้าเนเปียร์) ได้ดำเนินการเสร็จสิ้นแล้วในประเทศ มีเอกสารอ้างอิงโครงการ และมีระบบในต่างประเทศเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการศึกษาศักยภาพความเหมาะสมและแนวทางการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานแบบครบวงจร

2.10.2.1 กลุ่มบริษัท Biteco Group

เป็นบริษัทรับออกแบบ ควบคุม ก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และซ่อมบำรุงแบบครบวงจร (Turn-key) มีสำนักงานใหญ่อยู่ที่ประเทศยูเครน และโครงการในประเทศอิตาลี ประเทศอังกฤษ แต่ผลงานการดำเนินการเกี่ยวกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพระดับชุมชนไม่มากนัก ประมาณ 40 แห่ง และเสร็จสมบูรณ์ใน 4 ประเทศ (ที่มา : http://www.biteco-energy.com และ คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน) เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานบางส่วนที่นำเสนอได้ของโครงการฯ ใช้หญ้าเนเปียร์ประมาณ 69 ตัน/วัน จำนวนถังไม่ใช้อากาศ (Reactor) มีจำนวน 2 ถัง ปริมาตรถังหมัก 3,600 ลบ.ม. สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 3,000-4,000 ลบ.ม/วัน ใช้ผลิตไฟฟ้าประมาณ 1 เมกาวัตต์ รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และรูปที่ 2.8 แสดง Material Flow Diagram



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 2.8 Material Flow Diagram ระบบก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน กลุ่มบริษัท Biteco Group

ที่มา : คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลัง, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

2.10.2.2 กลุ่มบริษัท ZORG Biogas Group

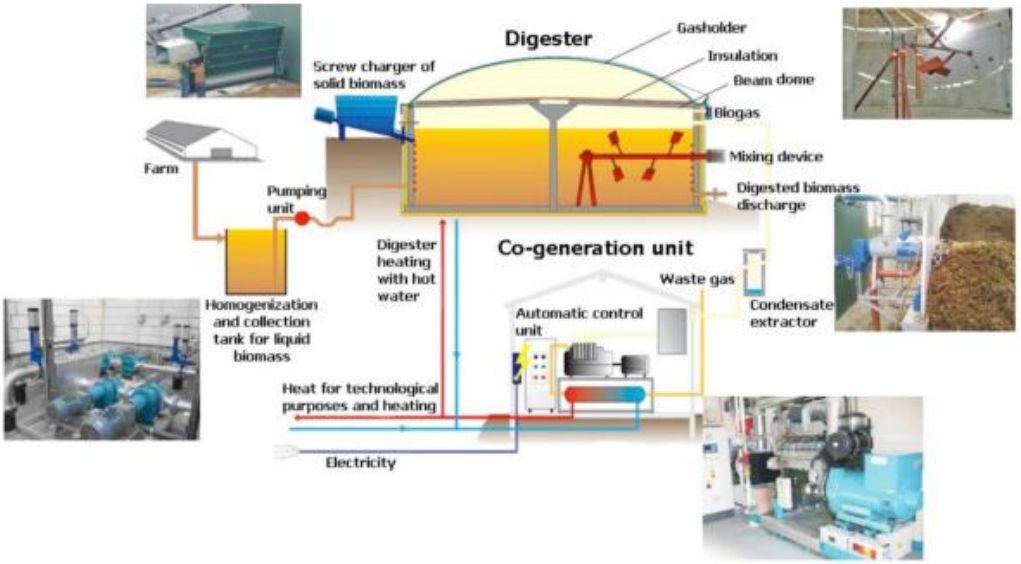
ZORG Biogas AG เป็นบริษัทรับออกแบบ ควบคุม ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ มีสำนักงานประสานงานด้านก๊าซชีวภาพอยู่ที่เมืองซูริค สวิทเซอร์แลน์และสำนักงานใหญ่ประเทศยูเครน โดยบริษัทนี้เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ก่อตั้งในปีพ.ศ.2550 มีผลงานการดำเนินการเกี่ยวกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้งระดับชุมชนกว่า 55 โครงการ ใน 16 ประเทศ มีประสบการณ์ในการดำเนินการทางวิศวกรรมในโครงการต่าง ๆ เช่น ผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มปศุสัตว์ โรงผลิตความร้อน-ไฟฟ้า (CHP) จากของเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยใช้เอนไซม์ช่วยในระบบ (ราคาเอนไซม์ประมาณ 20 - 42 ยูโร/กิโลกรัม สำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพผลิตไฟฟ้าขนาด 1 เมกาวัตต์ใช้ 2 กิโลกรัม) โครงการที่กำลังพัฒนาในประเทศไทยของ ZORG Biogas ที่ได้ร่วมออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน เช่น จังหวัดอุบลราชธานีและเชียงใหม่ ประกอบด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้หญ้าเนเปียร์ประมาณ 92 ตัน/วัน ขนาดถังไม่ใช้อากาศ (Digester) 3,600 ลบ.ม. จำนวน 3 ถัง และ ใช้หญ้าเนเปียร์ประมาณ 110 ตัน/วัน ขนาดถังไม่ใช้อากาศ Digester 3,600 ลบ.ม. จำนวน 3 ถัง และยังมีโครงการร่วมกับกลุ่ม Biteco และกลุ่ม UAC โครงการในต่างประเทศที่ประสบผลสำเร็จจากการใช้ของเหลือทิ้งทางการเกษตรผสมร่วมกับมูลสัตว์ ตัวอย่างระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ประสบผลสำเร็จในต่างประเทศแสดงในรูปที่ 2.9 ถึง 2.12 (ที่มา: http://www.zorg-biogas.com และ คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน)

รูปที่ 2.9 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของ Vircava, ประเทศ LATVIA, ขนาดระบบ 30 ตัน/วันขนาดถัง 2400 ลบ.ม. และ 1400 ลบ.ม. ผลิตความร้อนไฟฟ้า(CHP) 560 กิโลวัตต์ ปีพ.ศ. 2554

รูปที่ 2.10 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ประเทศ LATVIA, ขนาดระบบ 30 ตัน/วัน (เศษข้าวโพด) ขนาดถัง 3,600 ลบ.ม. จำนวน 2 ถัง ผลิตความร้อนไฟฟ้า (CHP) 1,000 กิโลวัตต์ปี พ.ศ. 2554

รูปที่ 2.11 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ประเทศ UKRAINE, ขนาดระบบ 10 ตัน/วัน (หญ้าเนเปียร์) ขนาดถัง 1,200 ลบ.ม. ผลิตก๊าซชีวภาพ 500 ลบ.ม. ผลิตไฟฟ้า 140 กิโลวัตต์ ปี พ.ศ. 2553

เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานบางส่วนที่นำเสนอได้ของโครงการฯ คือ หญ้าเนเปียร์ ประมาณ 92 ตัน/วัน ผสมร่วมกับน้ำเสียหรือมูลสัตว์ก่อน ในถังผสมร่วมขนาด 250 ลบ.ม. ขนาดถังหมักไร้อากาศ 3,600 ลบ.ม. จำนวน 3 ถัง และบ่อสำหรับเศษหญ้าเนเปียร์ที่ผ่านการหมักแล้วขนาด 250 ลบ.ม. ผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 14,000 ลบ.ม./วัน ใช้ผลิตไฟฟ้า 1 เมกาวัตต์แสดงส่วนประกอบของเทคโนโลยีที่สำคัญในรูป 2.12 ดังนี้

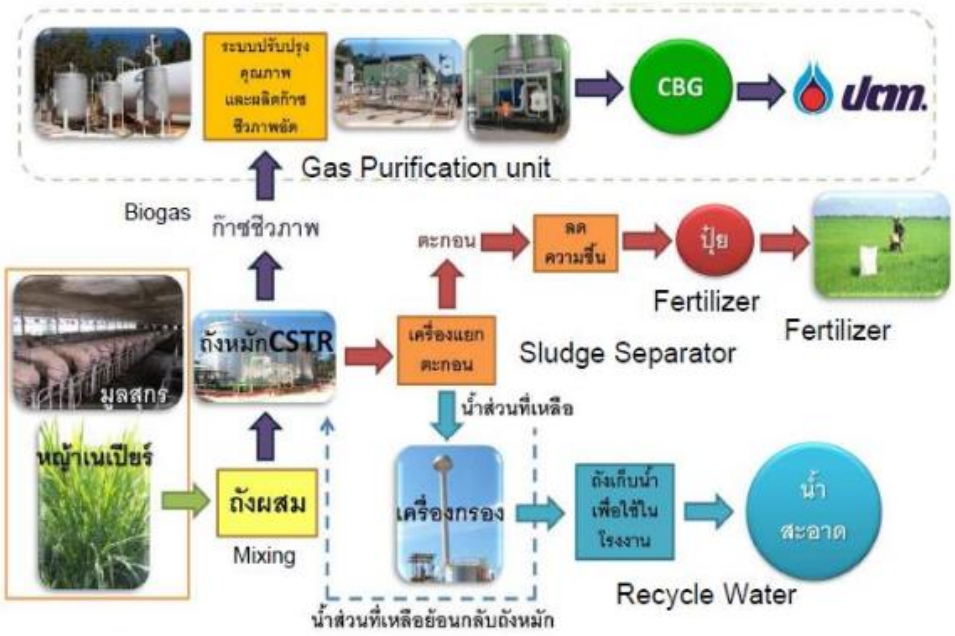


รูปที่ 2.12 เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานจากกลุ่มบริษัท ZOEG Biogas

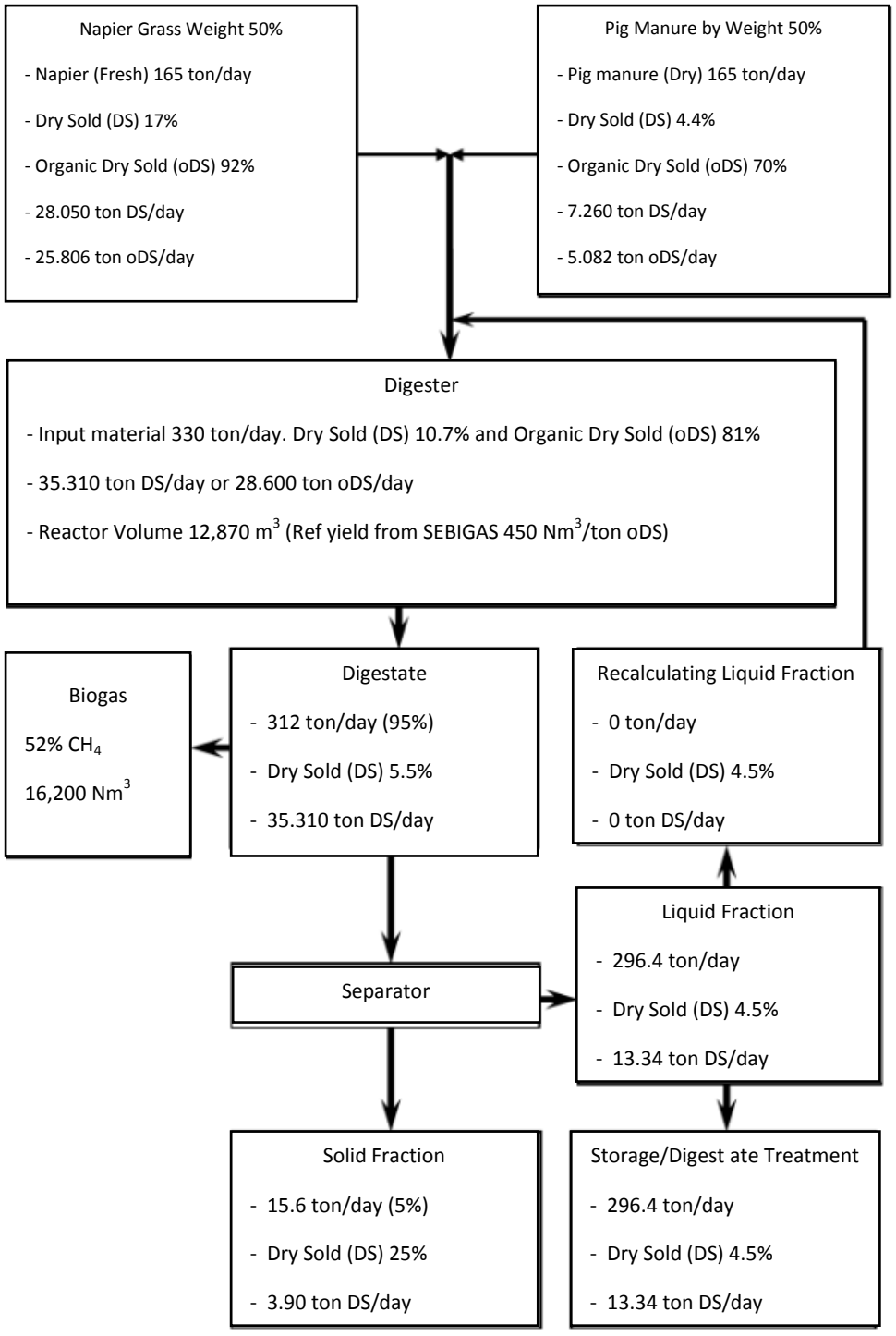
2.10.2.3 บริษัท SEBIGAS

SEBIGAS เป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มอุตสาหกรรมแมคคาเฟอร์รี่ (Maccaferri Industrial Group) ที่มีประสบการณ์มากกว่า 25 ปีเกี่ยวกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธีย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (Anaerobic Digestion) และมีความเชี่ยวชาญ ด้านการบริหารงานวิศวกรรม เป็นที่ปรึกษาด้านการลงทุน การร่วมลงทุน (Joint-Venture) และอื่น ๆ SEBIGAS มีผลงานการดำเนินการเกี่ยวกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้งระดับชุมชนและโรงงานกว่า 50 โครงการ โดย 18 โครงการบริหารงานโดย SEBIGAS เอง โครงการที่ประสบผลสำเร็จในไทยมีในจังหวัดเชียงใหม่ ในการออกแบบระบบ ก่อสร้าง เดินเครื่อง ซ่อมบำรุง และการบริหารงานระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานในจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีมูลค่ารวมลงทุนกว่า 110 ล้านบาท ใช้สุกรทั้งหมด 30,000 ตัว ในแต่ละวันจะได้มูลสด (Fresh Active Substrate) จากมูลสุกรประมาณ 10 - 12 ตัน/วัน ผสมรวมมากับน้ำทิ้งจากฟาร์มประมาณ 200 ลบ.ม./วัน ซึ่งฟาร์มสุกรมีความจำเป็นต้องกำจัดน้ำเสียอยู่แล้ว และหญ้าเนเปียร์หมัก (Grass Silage) อายุ 30 - 45 วัน มีปริมาณหญ้าประมาณ 23 - 25 ตัน/วัน (40 - 45 ตัน/ไร่/ปี) (ที่มา : http://www.stockwave.in.th, www.sebigas.it และคู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน)

เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน (หญ้าเนเปียร์) ของบริษัท SEBIGAS เน้นการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลผสมร่วมกับมูลสัตว์ จะมีลักษณะเป็นถังกวนในรูปแบบ Multi stage Digester โดยแต่ละถังจะมีการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม เมื่อผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว สิ่งที่เหลือสามารถนำไปทำปุ๋ยได้ รูปแบบสมดุลมวลของระบบแสดงดังนี้

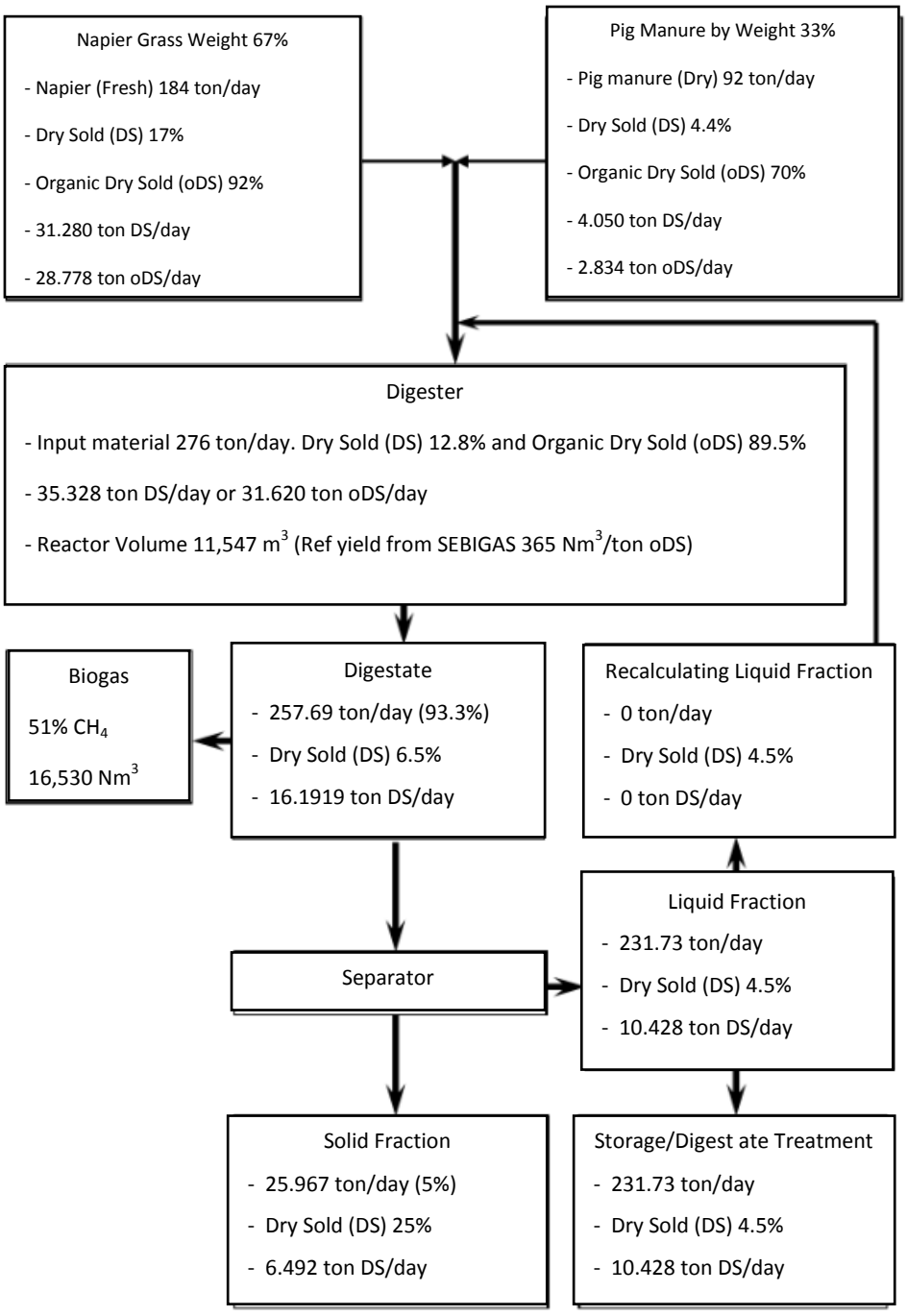


รูปที่ 2.13 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานของบริษัท SEBIGAS



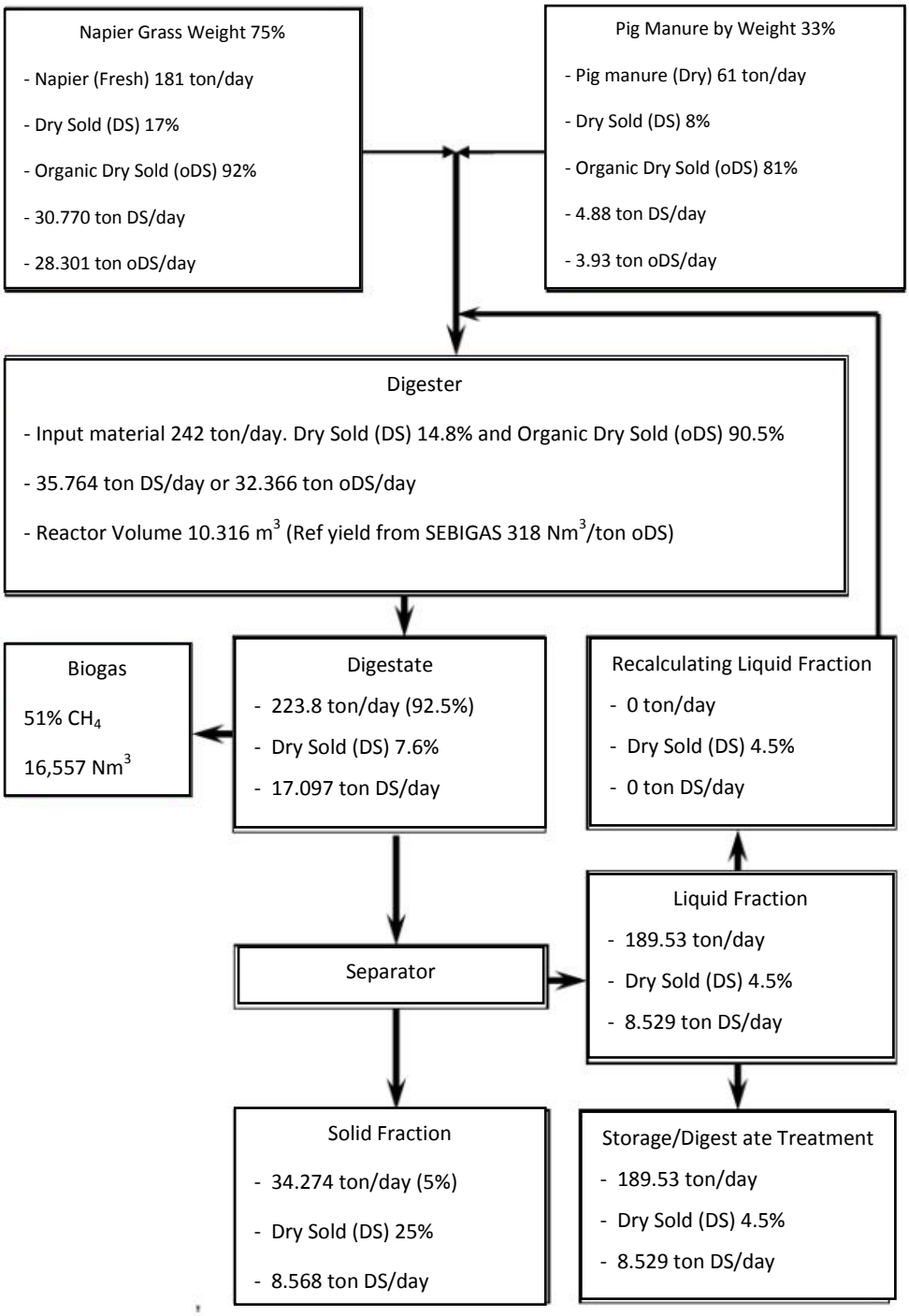
ภาพที่ 2.14 Mass balance ระบบก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน ของบริษัท SEBIGAS แบบที่ 1

ที่มา : คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน



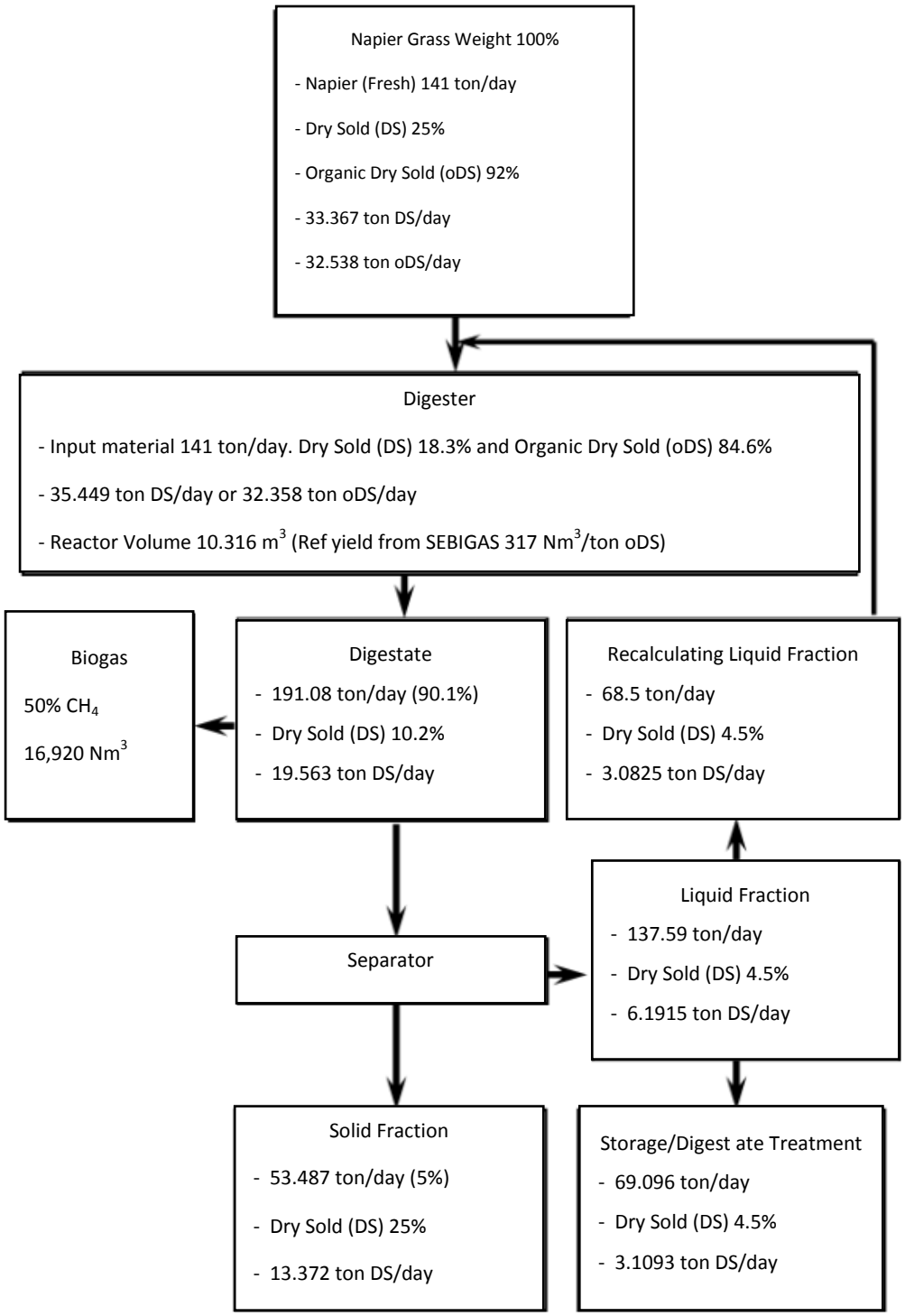
ภาพที่ 2.15 Mass balance ระบบก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน ของบริษัท SEBIGAS แบบที่ 2

ที่มา : คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน



ภาพที่ 2.16 Mass balance ระบบก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน ของบริษัท SEBIGAS แบบที่ 3

ที่มา : คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน



ภาพที่ 2.17 Mass balance ระบบก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน ของบริษัท SEBIGAS แบบที่ 4

ที่มา : คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

2.11 การนำก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า

2.11.1 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (แบบเชื้อเพลิงคู่)

เครื่องยนต์ ดีเซลดัดแปลงให้ใช้ก๊าซชีวภาพร่วมกับน้ำมันดีเซล ทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 60-70% สำหรับขับปั๊มสูบน้ำพัดลมโรงเรือนอีแวป (โรงเรือนระบบปิดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม) แสดงดังรูปที่ 2.18

รูปที่ 2.18 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (แบบเชื้อเพลิงคู่)

2.11.2 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์เบนซินดัดแปลง (ใช้ก๊าซชีวภาพ 100%)

เครื่องยนต์เบนซินดัดแปลงให้ใช้ก๊าซชีวภาพได้ 100 % สำหรับเครื่องยนต์ขนาด 15-20 kW ต่อร่วมกับ Synchronous/Induction Generator เพื่อผลิตไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2.19 และรูปที่ 2.20

รูปที่ 2.19 เครื่องยนต์เบนซินดัดแปลง (ใช้ก๊าซชีวภาพ 100%)

รูปที่ 2.20 เครื่องยนต์เบนซินดัดแปลง (ใช้ก๊าซชีวภาพ 100%) และตู้ควบคุมการทำงาน

2.11.3 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลง (ใช้ก๊าซชีวภาพ 100%)

เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงให้ใช้ก๊าซชีวภาพได้ 100 % สำหรับเครื่องยนต์ขนาด 30 kW ขึ้นไป ต่อร่วมกับ Synchronous/Induction Generator เพื่อผลิตไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2.21 และรูปที่ 2.22

รูปที่ 2.21 เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลง (ใช้ก๊าซชีวภาพ 100%)

รูปที่ 2.22 ภายในเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลง (ใช้ก๊าซชีวภาพ 100%)

2.11.4 การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (เครื่องนำเข้า)

เครื่องยนต์ ที่ใช้ก๊าซโดยเฉพาะ (เครื่องนำเข้า) เป็นเครื่องยนต์ขนาด 70 kW ขึ้นไป โดยต่อร่วมกับ Synchronous Generator ในการผลิตไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2.23

รูปที่ 2.23 เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (เครื่องนำเข้า)

2.12 การผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration)

การผลิตพลังงานร่วม หมายถึงการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า และความร้อนร่วมกันซึ่งเป็นระบบที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า/ความร้อนเพียงอย่างเดียวโดยปกติมักจะเห็นภาพการใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้าใช้ในการหุงต้ม หม้อต้มไอน้ำ เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งซึ่งหากมองถึงปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้จากก๊าซชีวภาพ การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้ายังมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ ดังนั้นแนวทางที่จะน่าเสนอนี้ เป็นแนวความคิดที่ทางโครงการฯ กำลังศึกษาเพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ดังนี้

กรณีที่ 1 : การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า มาใช้อุ่นบ่อหมักในส่วนของการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหมักย่อยสารอินทรีย์ โดยปกติแล้วเครื่องยนต์สันดาปภายในจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณ 20-30% เท่านั้น ความร้อนส่วนที่เหลือทิ้งไปที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ คือ ความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสียประมาณ 15% และความร้อนจากน้ำหล่อเย็นในเครื่องยนต์ประมาณ 35% ซึ่งสามารถทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมสูงได้ถึง 70%

กรณีที่ 2 : การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของลานตากตะกอน คือจะใช้ความร้อนจากสองส่วนคือ ความร้อนทิ้งจากไอเสียและจากน้ำหล่อเย็น ของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ โดยความร้อนทั้งสองส่วนนี้จะถูกส่งไปยังลานตากตะกอน ที่ได้รับการออกแบบให้สามารถรับความร้อนจากแสงแดดและความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์นี้ได้ เพื่อลดระยะเวลาการตาก/เพิ่มปริมาณการตากตะกอนให้มากขึ้นได้

กรณีที่ 3 : การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า มาผลิตน้ำร้อนไปยังระบบกกลูกสุกรแบบสัมผัสโดยตรง โดยปกติแล้วการกกลูกสุกรที่พบส่วนใหญ่ จะเป็นใช้ไฟฟ้าที่มีทั้งหลอดไฟ (หลอดแบบไส้) และเป็นระบบ Infrared หรือเป็นหัวกกแบบใช้ก๊าซ LPG ซึ่งจะใช้หลักการแผ่รังสีความร้อนให้ความอบอุ่นแก่ลูกสุกร แต่ระบบกกลูกสุกรแบบสัมผัสโดยใช้น้ำร้อนนั้น จะเป็นการออกแบบพื้นสำหรับให้ลูกสุกรนอน ที่มีท่อน้ำร้อนวิ่งอยู่ภายในพื้นเพื่อส่งความร้อนให้กับพื้น

2.13 ทางเลือกการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานกับมูลค่าพลังงาน

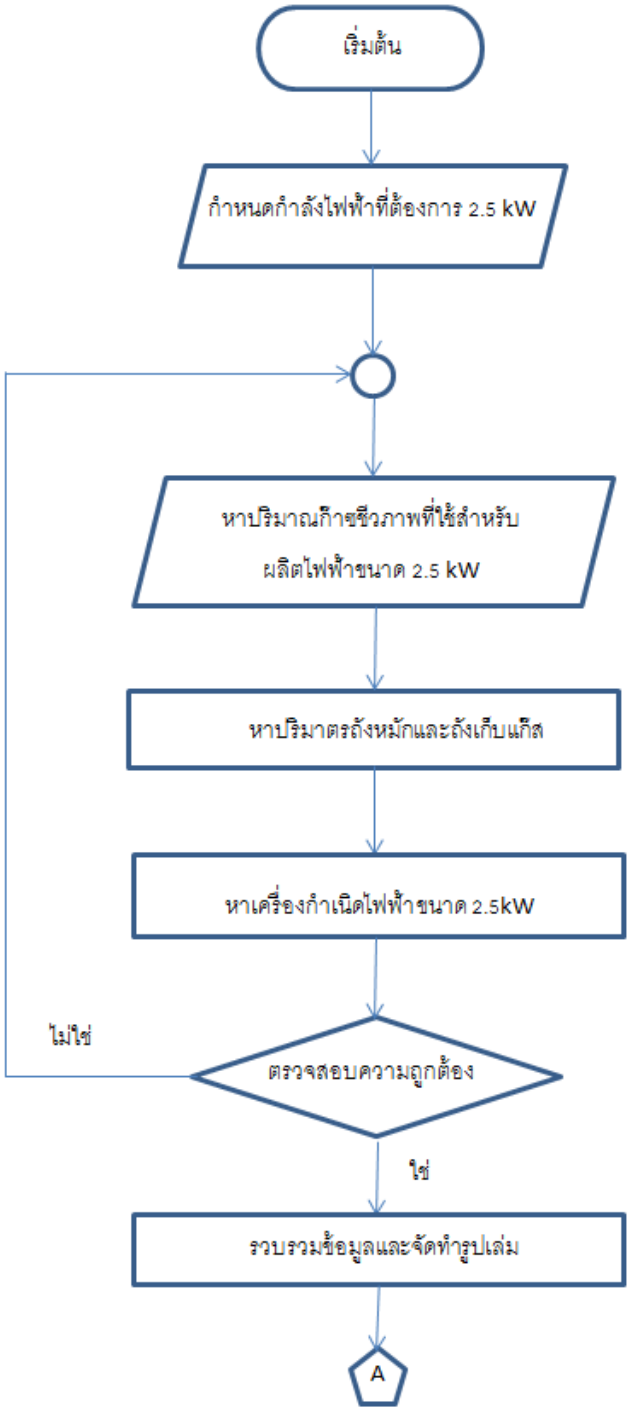
ตารางที่ 2.5 มูลค่าของก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เมื่อนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน

เชื้อเพลิง	ปริมาณ (เทียบเท่า)	ราคา (บาท/หน่วย)	มูลค่าทดแทน (บาท/ลบม.biogas)
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46 กิโลกรัม	16.85*	7.75
น้ำมันเตา	0.55 ลิตร	12.89*	7.09
น้ำมันดีเซล	0.60 ลิตร	22.37*	13.42
ไฟฟ้า	1.20 กิโลวัตต์ -ชั่วโมง	2.70**	3.24

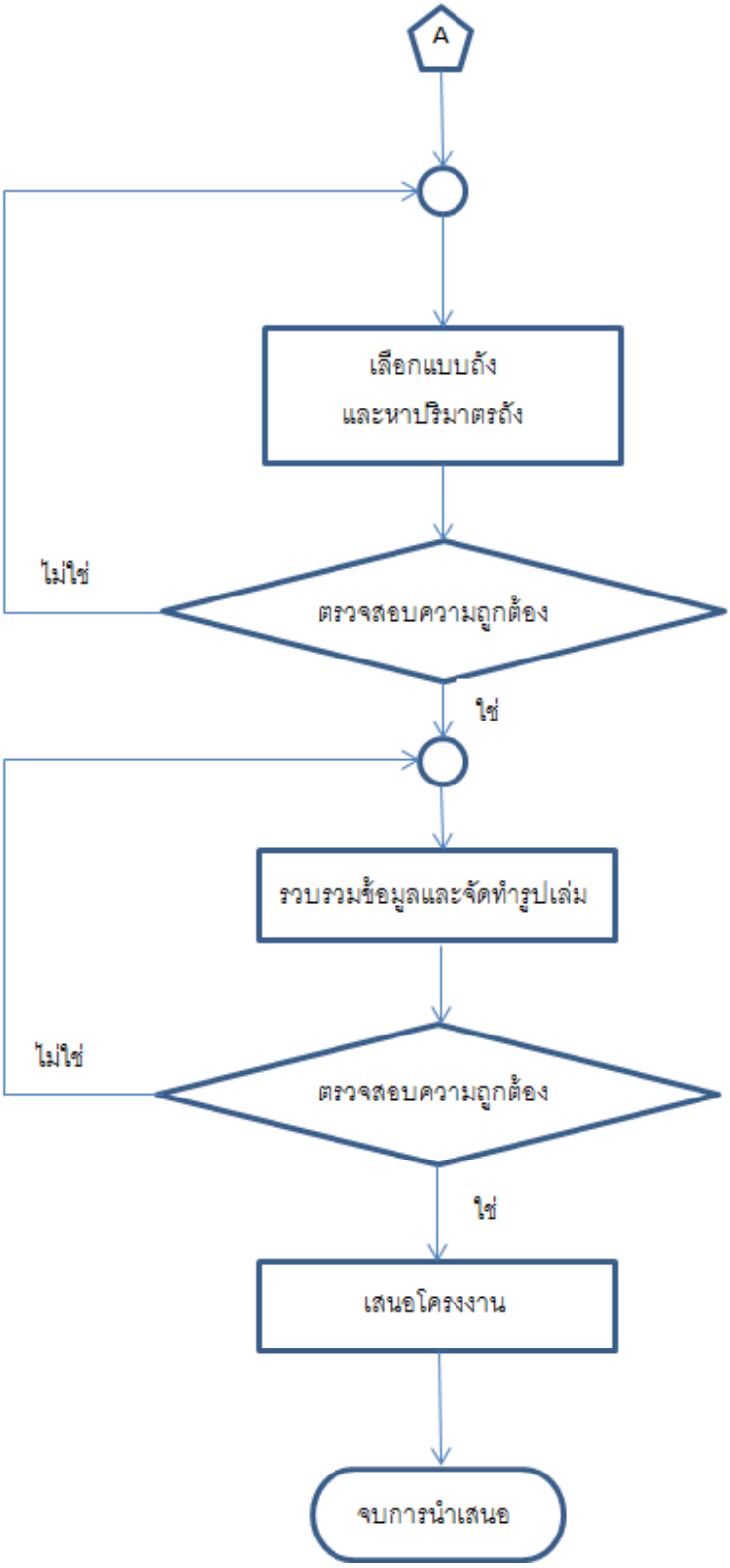
หมายเหตุ : *ราคาของ ปตท กรกฎาคม 2548, **ค่าเฉลี่ยค่าไฟฟ้าในฟาร์มเลี้ยงสุกรที่เข้าร่วมโครงการฯ

บทที่ 3
วิธีดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

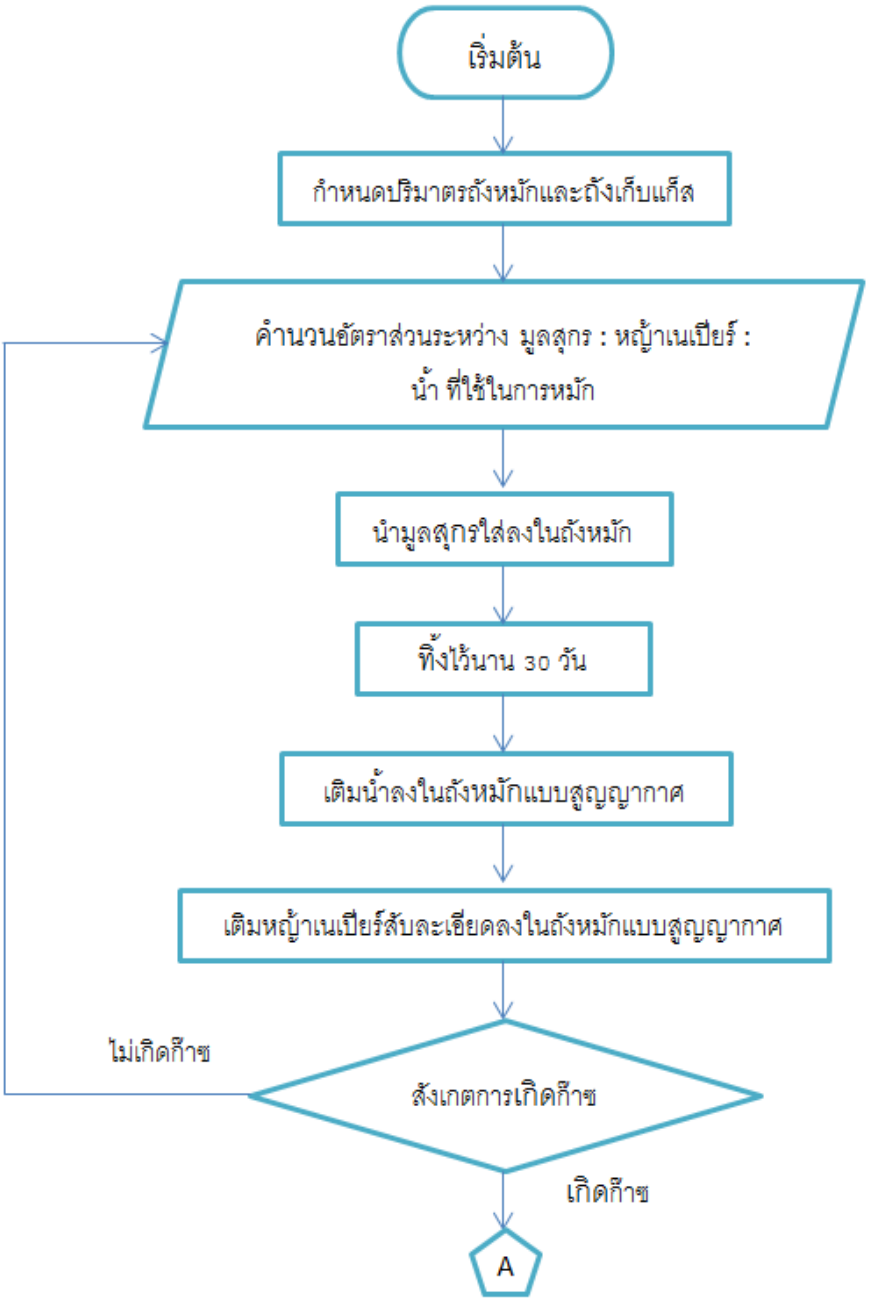


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

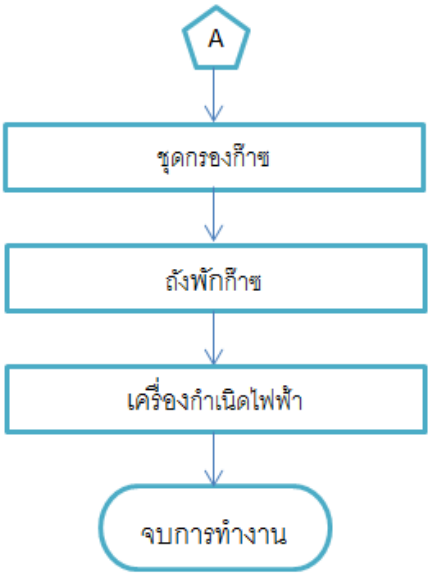


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการออกแบบ (ต่อ)

3.2 แผนการดำเนินงานการจำลองการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 3.3 แผนการดำเนินงานการจำลองการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 3.4 แผนการดำเนินงานการจำลองการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

เนื่องจากก๊าซชีวภาพนั้นเกิดจากกระบวนการหมักภายใต้สภาพไร้ออกซิเจน โดยอาศัยแบคทีเรียกลุ่ม เมทาโนเจน (methanogen) ที่จะทำหน้าที่ย่อยสลายชิ้นส่วนของหญ้าจนได้ก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งชิ้นส่วนของหญ้าที่มาจากส่วนใบและส่วนของลำต้นนั้นมีความสามารถในการถูกย่อยแตกต่างกัน ส่วนที่มาจากใบจะมีความสามารถในการถูกย่อยได้มากกว่าส่วนที่มาจากลำต้น ซึ่งอายุของหญ้าที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวคือ 60 วัน สำหรับการหมักก๊าซชีวภาพนั้นควรมีอายุระหว่าง 30 วัน ถังที่ใช้ในการหมักและถังเก็บใช้ถังขนาด 200 ลิตร สำหรับ ถังวัดแก๊สและถังพักแก๊สใช้ถังขนาด 120 ลิตร

รูปที่ 4.1 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

4.2 วิเคราะห์การลงทุนในการผลิตก๊าซชีวภาพ

หลังจากที่ได้ศึกษาถึงแหล่งพลังงาน ผู้ลงทุนต้องนำข้อมูลเหล่านั้นมาประมวลหาความเป็นไปได้ที่จะก่อสร้างโรงไฟฟ้าซึ่งต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

4.2.1 กำลังการผลิต

โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน แบ่งเป็น

1) ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer: SPP) กำลังการผลิตมากกว่า 10 เมกะวัตต์ แต่น้อยกว่า 90 เมกะวัตต์

2) ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก (Very Small Power Producer: VSPP) กำลังการผลิตไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ ซึ่งในการผลิตไฟฟ้าขนาด 2.5 กิโลวัตต์จัดเป็นผู้ผลิตรายเล็กมาก และเมื่อนำมาคิดเป็นอัตราการผลิตนั้นจะได้

$$1 \text{ หน่วย } = kWh \quad (4\text{-}1)$$

จากสมการ 4-1 จะได้ว่าอัตราการผลิตอยู่ที่ 2.5K*12h*359 วัน = 10,770 หน่วยต่อปี

4.2.2 วัตถุดิบ

โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานแต่ละแห่งต้องมีแหล่งวัตถุดิบที่แน่นอน โดยเป็นพื้นที่ที่สามารถผลิตวัตถุดิบป้อนเป็นเชื้อเพลิงแก่โรงไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง และมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของโรงงานเพื่อขจัดปัญหาเรื่องการขาดแคลนวัตถุดิบ โดยโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน (หญ้าเนเปียร์) ขนาด 2.5 กิโลวัตต์ ต้องมีวัตถุดิบที่เข้าสู่ระบบอย่างน้อยประมาณ 35 กิโลกรัมต่อวัน โดยเดินระบบผลิตกระแสไฟฟ้า 359 วัน ใช้วัตถุดิบหญ้าเนเปียร์สดอย่างน้อย 12.57 ตัน/ปี

ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานจะพิจารณาจากอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids; VS) ทั้งนี้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่เลือกใช้เท่ากับ 210 m^3/tonVS (ซึ่งเป็นค่าการผลิตก๊าซมีเทนสาหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Single Stage) โดยจะทำการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นเฉลี่ย 55%

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลวัตถุดิบที่เข้าและออกจากระบบก๊าซชีวภาพ

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
1. หญ้าเนเปียร์เข้าระบบก๊าซชีวภาพ	35	กิโลกรัมสด/วัน
2. ความต้องการ VS ป้อนระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	7.89	kg-VS/วัน
3. ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพ	78.86	m^3-BG/ตันสด
4. ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	2.76	m^3-BG/วัน
5. กำหนดปริมาณคงเหลือในรูปสารอินทรีย์ปรับปรุงดิน	17%	ของวัตถุดิบป้อน
6. ปริมาณคงเหลือในรูปสารอินทรีย์ปรับปรุงดิน	5.95	กิโลกรัมปุ๋ย/วัน
7. ปริมาณปุ๋ยน้ำ (Digestate) ออกจากระบบ Biogas	0.03	m^3/วัน

ตาราง 4.2 คำนวณพลังงาน

Methane production (m^3/ton.Raw material)	2.76
Energy yield @ 11.04 kw/m^3 methane (KW) a	30.5
Heat generation @ 50% (KW) a	15.25
Electricity combined heat and power @ 35% (KW)	10.7

ที่มา : a Duerr, *et al*. (2005).

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการเดินระบบผลิตไฟฟ้าขนาด 2.5 กิโลวัตต์

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
1. จำนวนวันในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อปี	359	วัน
2. อายุโครงการ	20	ปี
3. ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปี	7.18	ลบ.ม./ปี
4. สัดส่วน % มีเทน (CH_4) ในก๊าซชีวภาพ	55	%
5. ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ	15.25	kW
6. กำลังผลิตที่ติดตั้งจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	3	kW
7. ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี	10,770	หน่วย
8. กำลังผลิตไฟฟ้าเสนอขายเข้าระบบ กฟภ.	2.5	kW
9. ปริมาณไฟฟ้าเสนอขายเข้าระบบต่อปี	897.5	หน่วย
10. อายุการใช้งานเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ	55,000	ชั่วโมง

4.2.3 ระยะเวลาในการคืนทุน

ระยะเวลาในการคืนทุนเป็นส่วนที่จะพิจารณาว่าโครงการดังกล่าวคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ และเป็นส่วนที่จะให้ความมั่นใจกับผู้สนับสนุนโครงการ (หน่วยงานรัฐบาล ธนาคารพาณิชย์ และนักลงทุน) โดยผู้ประกอบการต้องวิเคราะห์ส่วนประกอบสองส่วน ได้แก่ 1) ต้นทุนและรายจ่าย 2) รายได้จากการดำเนินกิจการ

ส่วนแรกต้นทุนและรายจ่ายแบ่งเป็น

ตารางที่ 4.4 ต้นทุนในการก่อสร้าง

รายการ	จำนวน (บาท)
1. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพและปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ	5,000
2. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วย Gas Engine Generator พร้อมการเชื่อม Grid	
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่อง	56,000
ค่าติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	11,000
รวม	72,000

หมายเหตุ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่องใช้ได้ประมาณ 13 ปี

ตารางที่ 4.5 ต้นทุนวัตถุดิบ

รายการ	จำนวน (บาทต่อวัน)
1. หญ้าเนเปียร์ (700 บาท/ตัน)	24.5
2. เชื้อจุลินทรีย์	-
3. น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (27.38 บาท/ลิตร)	11
รวม	35.50

ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหารและซ่อมบำรุง การคำนวนค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร-อุปกรณ์ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (1.5% ของเงินลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพ) จะได้ $5,000 * \frac{1.5}{100} = 75$ บาท และค่าซ่อมบำรุงระบบผลิตไฟฟ้า (0.35 บาท/kWh) จะได้ $0.35 * 10,770 = 3,769.50$ บาท ซึ่งเป็นข้อมูลจากคู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน

ส่วนที่สองรายได้จากการดำเนินกิจการ

4.2.3.1 รายได้จากการขายไฟ

สำหรับ VSPP และ SPP ที่เป็น Non-Firm ได้แก่

1) ปริมาณไฟฟ้าที่จำหน่ายได้ในช่วง Peak และ Off-Peak (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) เนื่องจากราคาไฟฟ้าต่อหน่วยของช่วง Peak และ Off-Peak จะต่างกันสำหรับ Non-Firm

2) ส่วนต่างของปริมาณไฟฟ้าที่จำหน่ายต่อปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้า ถ้าผู้ประกอบการจำหน่ายไฟฟ้าน้อยกว่าที่ซื้อจากการไฟฟ้า ผู้ประกอบการไฟฟ้าต้องเสียค่าใช้ไฟฟ้าที่ปริมาณสุทธิในทางกลับกันถ้าผู้ประกอบการจำหน่ายไฟฟ้ามากกว่าปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้าผู้ประกอบการจะได้ค่าการจำหน่ายไฟฟ้าสุทธิ

- ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) เท่ากับ 4 บาท/kWh
- ค่า Ft (ค่าไฟฟ้าผันแปร) จะเปลี่ยนตามภาวะต้นทุนการผลิตการส่งและการจำหน่ายที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของการไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากต้นทุนที่กำหนดไว้ในค่าไฟฟ้าพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ อัตราเงินเฟ้อและหน่วยจำหน่ายที่เปลี่ยนแปลงไปจากที่ประมาณการไว้ในการกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าฐานจะคิดกับผู้ใช้ไฟฟ้าทุกประเภทในอัตราเท่ากันทุกหน่วย ค่า Ft โดยปกติจะมีการเปลี่ยนแปลงทุก 4 เดือนเพื่อไม่ให้ค่าไฟฟ้าผันผวนมากเกินไป โดยปัจจุบันขายไฟฟ้าในอัตราของ FIT ค่าไฟฟ้า 4.5 บาท/kWh
- ค่าส่วนเพิ่มการขายไฟฟ้า (Adder) เท่ากับ 0.5 บาท/kWh

4.2.3.2 รายได้จากการขายปุ๋ยชีวภาพ

โดยสามารถนำตะกอนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพมีปริมาณ 2.17 ตัน/ปี มาทำเป็นปุ๋ยหมักชีวภาพเพื่อจำหน่ายได้

4.2.4 การลงทุนในระบบกรณีการกู้ยืมเงิน

ต้นทุนทางการเงิน (Cost of Fund) คือต้นทุนในการกู้ยืมเงินจากแหล่งเงินทุนอื่น อาทิเช่น หน่วยงานของรัฐบาล ธนาคารพาณิชย์ เพื่อใช้เป็นทุนสร้างโรงงาน หรือใช้เป็นเงินทุนหมุนเวียน ซึ่งต้นทุนดังกล่าวจะแปรผันตรงกับจำนวนเงินที่นำมา และผันตรงกับอัตราดอกเบี้ย ณ เวลานั้น (โดยปกติยิ่งระยะเวลากู้ยาวอัตราดอกเบี้ยจะยิ่งสูงตาม)

1. สัดส่วนหนี้สินต่อทุนจากการสำรวจข้อมูลโครงการพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ และจากโครงการศึกษามาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนจัดทำโดยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จะพบว่าอัตราส่วนหนี้สินต่อทุนประมาณ 3:2 สำหรับโครงการขนาดเล็ก เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมและเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ
2. อัตราดอกเบี้ยจากการสำรวจข้อมูลจากธนาคารพาณิชย์ของประเทศไทย อัตราดอกเบี้ยเงินกู้สำหรับโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่มีรายรับค่อนข้างแน่นอนจะถูกจัดเป็นประเภทลูกค้าชั้นดี ซึ่งจะได้รับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ลอยตัว (Floating Rate) ในช่วง MLR-1.5 ถึง MLR+1 แล้วแต่ขนาดและประเภทของกิจการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ขั้นต่ำ (Minimum Loan Rate; MLR) อ้างอิงข้อมูลจากธนาคารกสิกรไทยจะมีค่าประมาณ 7.12% ต่อปี
3. ระยะเวลาการกู้เนื่องจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนภายใต้โครงสร้างแบบ FIT เป็นโครงการที่ได้รับการประกันการรับซื้อตามสัญญาระยะยาว จากการสอบถามความเห็นจากสถาบันการเงินชั้นนำหลายแห่ง พบว่ามีความเป็นไปได้สูงว่าสถาบันการเงินอาจพิจารณากำหนดระยะเวลาการการจ่ายคืนเงินต้นในช่วงมากกว่าหรือเท่ากับ 10 ปีขึ้นไปได้ ทั้งนี้ จากวิเคราะห์อัตราส่วนความสามารถในการชำระหนี้ (Debt Service Coverage ratio; DSCR) ของโครงการฯ จะพบว่า เมื่อระยะเวลาการกู้ตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป จะทาให้ DSCR ในแต่ละปีมีค่าสูงมากกว่า 1.25 ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้โครงการมีความสามารถในการชำระหนี้ได้ตามเงื่อนไขของสถาบันการเงินส่วนใหญ่

ตารางที่ 4.6 การลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีเมื่อมีการกู้เงินจากธนาคาร

สมมติฐาน	ค่า	หน่วย
มูลค่าลงทุนทั้งโครงการ Total Project Costs (exclude Land & Development cost)	72,000	บาท
การกู้เงินของโครงการ (Debt Leverage)	100	%
ดอกเบี้ย (Interest Rate)	7.12	% ต่อปี
อายุสินเชื่อกู้เงินโครงการ Tenor of Loan (+1 ปี Grace period)	10	ปี
ราคาจำหน่ายหน่วยไฟฟ้า (Sale Price per kWh)	4.50	บาท
ดอกเบี้ยตามระยะเวลาก่อสร้างโครงการ (Interest During Construction)	51,264	บาท
หน่วยไฟฟ้ารวมทั้งปี Annual EE (net) Production	10,770	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
หญ้าเนเปียร์ที่ใช้ตลอดโครงการในช่วง 1 ปี	13	ตัน/ปี
ราคาหญ้าเนเปียร์ต่อตัน (Cost of Napier grass)	400.00	บาท

หมายเหตุ รัฐบาลประกันราคาหญ้าเนเปียร์อยู่ที่ 400 บาทต่อตัน

กู้เงินในการทำโครงการ 72,000 บาท โดยมีอัตราดอกเบี้ย 7.12%ต่อปี อายุสินเชื่อกู้เงินโครงการ 10 ปี ดังนั้น ดอกเบี้ยรวมที่ต้องจ่ายทั้งหมดภายในอายุโครงการมีค่าเท่ากับ

$$\frac{7.12}{100} * 72,000 * 10 = 51,264 \text{ บาท}$$

ซึ่งในแต่ละเดือนต้องผ่อนจ่ายเป็นมูลค่า

$$\frac{72,000 + 51,264}{10 * 12} = 1,027.2 \text{ บาท/เดือน}$$

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำกำไรของโครงการ

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำกำไรของโครงการผู้ประกอบการต้องทำประมาณการงบการเงิน (Balance Sheet) งบกำไรขาดทุน (Financial Statement) และงบกระแสเงินสด (Cash Flow Statement) เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทำกำไรและสภาพคล่องของธุรกิจ นอกจากนั้นผู้ประกอบการต้องนำงบกระแสเงินสด (Cash Flow Statement) มาวิเคราะห์เพื่อหามูลค่าปัจจุบันของธุรกิจ (NPV) และอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน ประกอบการตัดสินใจ โดยโครงการควรจะมีระยะเวลาคืนทุนไม่นานกว่าระยะเวลาที่กระทรวงพลังงานจะให้การสนับสนุนพลังงานก๊าซชีวภาพ

จำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าในครัวเรือนต่อวัน ดังในตารางที่ 4.7 เพื่อนำไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้ไปขายให้กับการไฟฟ้า

ตารางที่ 4.7 จำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในครัวเรือน

Load	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม(W)	เวลา(h)	พลังงานไฟฟ้า (Wh)
หลอดไฟฟลูออเลสเซนต์ LED	10 หลอด	18	180	6	1,080
พัดลมเพดาน	1 ตัว	100	100	12	1,200
พัดลมตั้งพื้น	2 ตัว	50	100	6	600
ตู้เย็น	1 เครื่อง	70	70	24	1,680
หม้อหุงข้าว	1 หม้อ	500	500	2	1,000
เครื่องซักผ้า	1 เครื่อง	450	450	1	450
โทรทัศน์	1 เครื่อง	75	75	8	600
รวม			1,475		6,610

เราสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 2.5 กิโลวัตต์ต่อวัน หรือเท่ากับ 2,500 วัตต์ ทำการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะให้พลังงาน 2,500*12 = 30,000 วัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นยูนิตจากสมการที่ 4-1 แทนค่า $\frac{30,000}{1,000} = 30$ หน่วยต่อวัน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในครัวเรือน 6,610 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นยูนิตจากสมการที่ 4-1 แทนค่า $\frac{6,610}{1,000} = 6.6$ หน่วยต่อวัน ดังนั้นเหลือพลังงานจากการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพทั้งหมด 30 – 6.6 = 23.4 หน่วยต่อวัน ซึ่งทางการไฟฟ้ารับซื้อไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในราคา 4.5 บาทต่อหน่วย ดังนั้นเราสามารถขายไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่เหลือจากการใช้งานภายใน

ครัวเรือนประมาณ 4.5*23.4 = 105.3 บาทต่อวัน ภายใน 1 ปี (359 วัน) เราสามารถขายไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพได้ทั้งหมด 105.3*359 = 37,802.7 บาท สำหรับการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีการบำรุงรักษาทุก ๆ 2 เดือน ภายใน 1 ปี จะมีการบำรุงรักษา 6 วัน โดยจะใช้ไฟจากการไฟฟ้า 6.6 หน่วยต่อวัน สามารถคำนวณได้ดังนี้

ค่าไฟฟ้าที่รัฐเรียกเก็บ ค่า Ft ก.ย.-ธ.ค. 60 = 0.4638 บาท/หน่วย ภาษีมูลค้าเพิ่ม ร้อยละ 7 ของค่าไฟฟ้าฐานและค่า Ft

$$\begin{aligned} \text{ค่าไฟฟ้า} &= \text{ค่าไฟฟ้าฐาน} + Ft + \text{ภาษีมูลค่าเพิ่ม} \\ &= 3.27+0.4638+0.2614 \\ &= 3.9952 \text{ บาท/หน่วย} \end{aligned} \quad (4\text{-}2)$$

การใช้ไฟฟ้าภายในครัวเรือนจำลอง ในกรณีรับไฟจากการไฟฟ้าจะต้องเสียค่าไฟเป็นจำนวนเงิน

$$\begin{aligned} 6.6 \text{ หน่วย/วัน} &= 3.9952*6.6 \\ &= 26.37 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

การบำรุงรักษาระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพใน 1 ปี ต้องบำรุงรักษาทั้งหมด 6 วัน ซึ่งใน 6 วันนั้นเราจะไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้จึงต้องใช้ไฟจากการไฟฟ้าและเมื่อนำมาคำนวณจะพบว่าจะต้องจ่ายค่าไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าเป็นจำนวนเงิน 26.37*6 = 158.22 บาท/ปี ดังนั้นเราจะได้กำไรจากการขายก๊าซชีวภาพ 37,802.7 – 158.22 = 37,644.48 บาท/ปี

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบรายรับ-รายจ่ายกรณีกู้ยืมเงิน

สมมุติฐาน	ค่า		หน่วย
	รายรับ	รายจ่าย	
1. ค่าเชื้อเพลิงในการเดินเครื่อง (11 บาท/วัน)		3,949	บาท/ปี
2. ค่าบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (0.35 บาท/ kWh).		3,769.5	บาท/ปี
3. ค่าหญ้าเนเปียร์ (700 บาท/ตัน)		5,850	บาท/ปี
4. ค่าไฟฟ้าที่ใช้จากการไฟฟ้าในวันที่ทำการบำรุงรักษา (6 วัน/ปี)		158.2	บาท/ปี
5. ชำระเงินกู้ (ดอกเบี้ย 7.12% ต่อปี)		5,126.4	บาท/ปี
6. ค่าปุ๋ย (100 บาท/ตัน)	217		บาท/ปี
7. ขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้า (4.5 บาท/หน่วย)	37,802.7		บาท/ปี
รวม	38,019.7	18,853.1	บาท/ปี

จากตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบรายรับ-รายจ่าย เมื่อนำค่ามาหักลบกัน จะได้กำไรต่อปี เท่ากับ 19,166.6 บาท ซึ่งสามารถคืนทุนได้ภายใน 4 ปี

4.2.5 การลงทุนในระบบกรณีไม่ได้ทำการกู้ยืม

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบรายรับ-รายจ่ายกรณีไม่กู้ยืมเงิน

สมมุติฐาน	ค่า		หน่วย
	รายรับ	รายจ่าย	
1. ค่าเชื้อเพลิงในการเดินเครื่อง (11 บาท/วัน)		3,949	บาท/ปี
2. ค่าบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (0.35 บาท/ kWh)		3,769.5	บาท/ปี
3. ค่าหญ้าเนเปียร์ (700 บาท/ตัน)		5,850	บาท/ปี
4. ค่าไฟฟ้าที่ใช้จากการไฟฟ้าในวันที่ทำการบำรุงรักษา (6 วัน/ปี)		158.2	บาท/ปี
5. ค่าปุ๋ย (100 บาท/ตัน)	217		บาท/ปี
6. ขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้า (4.5 บาท/หน่วย)	37,802.7		บาท/ปี
รวม	38,019.7	13,726.7	บาท/ปี

จากตารางที่ 4.9 ตารางเปรียบเทียบรายรับ-รายจ่ายกรณีไม่กู้ยืมเงิน เมื่อนำค่ามาหักลบกัน จะได้กำไรต่อปีเท่ากับ 24,293 บาท ซึ่งสามารถคืนทุนได้ภายใน 3 ปี

4.2.6 ความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้าใช้เองภายในครัวเรือน

การใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 2.5 กิโลวัตต์ หรือ 30 หน่วย/วัน และการลงทุนในแต่ละวัน ตารางที่ 4.5 เท่ากับ35.5 บาท/วัน ดังนั้น ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพจะมีราคา 1.18 บาท/หน่วย ซึ่งเมื่อนำมาเทียบกับค่าไฟที่ซื้อจากการไฟฟ้าที่ราคา 3.9952 บาท/หน่วย จะพบว่าถ้าผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพใช้เองจะสามารถใช้ไฟฟ้าในราคาที่ถูกกว่า 3.9952 – 1.18 = 2.8152 บาท/หน่วย ซึ่งหมายความว่าจะสามารถประหยัดไปได้ถึง 84.456 บาท/วัน ซึ่งสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาประมาณ 853 วัน หรือประมาณ 2 ปี 4 เดือน

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

พลังงานเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ จากการเกิดวิกฤติการปรับตัวขึ้นของราคาพลังงาน ทำให้เกิดผลกระทบต่อการการพัฒนาเศรษฐกิจ ดังนั้นจึงควรหันมาสนับสนุนให้มีการเลือกใช้พลังงานที่มีอยู่ภายในประเทศเพื่อทดแทนพลังงานนำเข้าที่มีราคาเพิ่มสูงขึ้นและมีแนวโน้มของปริมาณที่ลดลง ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการประกอบอาชีพกสิกรรม เช่นการทำนา การทำพืชไร่ การทำพืชสวน จึงมีวัสดุการเกษตรจำนวนมาก วัสดุเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานได้โดยเรียกว่า พลังงานก๊าซชีวภาพ ซึ่งพลังงานก๊าซชีวภาพ จัดเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่ง พลังงานก๊าซชีวภาพสามารถนำมาแปรสภาพด้วยวิธีการหมักแบบไร้อากาศเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพแล้วนำไปใช้แทนแก๊สหุงต้มหรือนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงให้ความสนใจในเรื่องของการนำก๊าซชีวภาพมาผลิตกระแสไฟฟ้า การที่จะเกิดการผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นได้นั้น ผู้ที่สนใจลงทุนย่อมมีความอยากเรียนรู้ในเรื่องของกระบวนการผลิต ออกแบบ และความคุ้มค่าในการลงทุน ในงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดในการนำเสนอความรู้ด้านต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาผลิตไฟฟ้าใช้เองในครัวเรือน

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาผลิตไฟฟ้าขนาด 2.5 กิโลวัตต์ จากการศึกษาพบว่าอายุของหญ้าที่เหมาะสมต่อการหมักต้องมีอายุประมาณ 60 วัน ใช้หญ้าเนเปียร์ 35 กิโลกรัมต่อวัน สำหรับการหมักก๊าซชีวภาพนั้นควรหมัก 30 วัน หลังจาก 30 วันไปแล้วจะมีการเติมหญ้าทุกวัน ส่วนถังที่ใช้ในการหมักและถังที่ใช้ในการเก็บจะใช้ถังขนาด 200 ลิตร สำหรับ ถังวัดแก๊สและถังพักแก๊สใช้ถังขนาด 120 ลิตร

การลงทุนต้นทุนในการก่อสร้างระบบการผลิตไฟฟ้า 72,000 บาท ซึ่งตลอดอายุโครงการ 20 ปี ต้องใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า จำนวน 2 เครื่อง สำหรับวัตถุดิบลงทุน 35.50 บาทต่อวัน ซึ่งในกรณีทำการกู้ยืมเงินจะได้กำไรต่อปีเท่ากับ 19,166.6 บาท ซึ่งสามารถคืนทุนได้ภายใน 4 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 7.12% ต่อปี กรณีไม่ได้ทำการกู้ยืมเงินจะได้กำไรต่อปีเท่ากับ 24,293 บาท ซึ่งสามารถคืนทุนได้ภายใน 3 ปี และกรณีที่ผลิตเพื่อใช้เองในครัวเรือน จะทำให้ใช้ค่าไฟฟ้าได้ถูกกว่า 2.8152 บาท/หน่วย ซึ่งหมายความว่าจะสามารถประหยัดไปได้ถึง 84.456 บาท/วัน ซึ่งสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาประมาณ 853 วัน หรือประมาณ 2 ปี 4 เดือน

5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

5.2.1 เทคโนโลยีระบบหมักแบบไร้อากาศมีหลากหลาย ควรมีการศึกษาและเปรียบเทียบเทคโนโลยีระบบหมักแบบไร้อากาศอื่น ๆ

5.2.2 จากผลการวิจัย ในการผลิตก๊าซชีวภาพในครัวเรือนนั้น ไม่ควรทำการกู้เงินเพราะผู้ผลิตจะต้องแบกรับรายจ่ายที่มากเกินไปและผลตอบแทนน้อย

5.2.3 การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีขอบเขตการวิจัย เฉพาะการผลิตก๊าซชีวภาพภายครัวเรือนเท่านั้น ดังนั้นการที่จะทำให้มีการหันมาใช้พลังงานที่มีอยู่ภายในประเทศนั้นควรมีการมองถึงแหล่งที่มาของวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นพลังงานที่ได้จากภาคเกษตรกรรม ในงานวิจัยต่อไปจึงควรมีการศึกษาตั้งแต่ต้นทุนในการเพาะปลูกพืชเพื่อนำมาเป็นวัตถุโดยตรงของการผลิตก๊าซชีวภาพ

5.2.4 การวิจัยครั้งนี้เป็นการประเมินความคุ้มค่าการผลิตไฟฟ้าที่กำลังการผลิต 2.5 กิโลวัตต์ โดยใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ จึงควรมีการเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าขนาดเพิ่มขึ้น

5.2.5 การวิจัยในครั้งมุ่นเน้นไปที่การผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ จึงคิดว่าในการศึกษาครั้งต่อไปน่าจะใช้พืชที่ไม่มีประโยชน์และหาพบได้ง่ายมากกว่านี้

5.2.6 รัฐบาลควรให้เงินสนับสนุนชุมชนที่ผลิตไฟฟ้าใช้เอง ไม่ต้องขายในช่วงการลงทุนเริ่มแรกเพื่อเป็นแรงกระตุ้นให้ชุมชนผลิตไฟฟ้าใช้เอง และเป็นการพัฒนาด้านเทคโนโลยีให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ฟาริดา พรหมมา, ดุษณี ธนะบริพัฒน์ และปราโมทย์ ศิริโรจน์. (2557). การผลิตแก๊สชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ 3 สายพันธุ์. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง,* ปีที่ 23, ฉบับที่ 2, หน้า 32-48.

ดวงใจ จีนานุรักษ์ และ พิษณุวัฒน์ ทวีวัฒน์. (2557). การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนโรงไฟฟ้าชีวมวลจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ในอำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี. *วารสารเศรษฐศาสตร์และกลยุทธ์การจัดการ,* ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 44-50.

ศูนย์บริการข้อมูลโครงการศึกษาวิจัยต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน(ก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน) (One Stop Service). (2556). *คู่มือการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1.* พิมพ์ครั้งที่ 1. จังหวัดนครราชสีมา : หจก.มิตรภาพการพิมพ์ 1995.

ศูนย์บริการวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต. (2557). *คู่มือการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานแบบครบวงจรในโรงงานอุตสาหกรรม.* พิมพ์ครั้งที่ 1. จังหวัดปทุมธานี : (ม.ป.ท.).

ศูนย์บริการข้อมูลโครงการศึกษาวิจัยต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน(ก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน) (One Stop Service). (2556). *คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : หจก.มิตรภาพการพิมพ์ 1995.

วีรชัย อาจหาญ และคณะ. (2550). *การศึกษาต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน.* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรหัวหน้าหน่วยปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อมสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์ และโกวิท สุวรรณหงษ์. (2555). *การผลิตแก๊สชีวภาพจากซากชีวมวลในร่องสวนของชุมชน ในอำเภออัมพวาจังหวัดสมุทรสงคราม.* ปริญญาโท, จุลชีววิทยาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.

รุ่งทิวา สีมาปาน, ศรีกาญจนา คล้ายเรือง, ศิราภรณ์ ชื่นบาล และ ฐปน ชื่นบาล. (ม.ป.ป.). *ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมของมูลสุกรและหญ้าเนเปียร์หมัก.* ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.

ศูนย์วิจัยพลังงาน. (2554). *โครงการพัฒนาก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร เพื่อการคมนาคม.* มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). *คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิตการควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ

ภาคผนวก

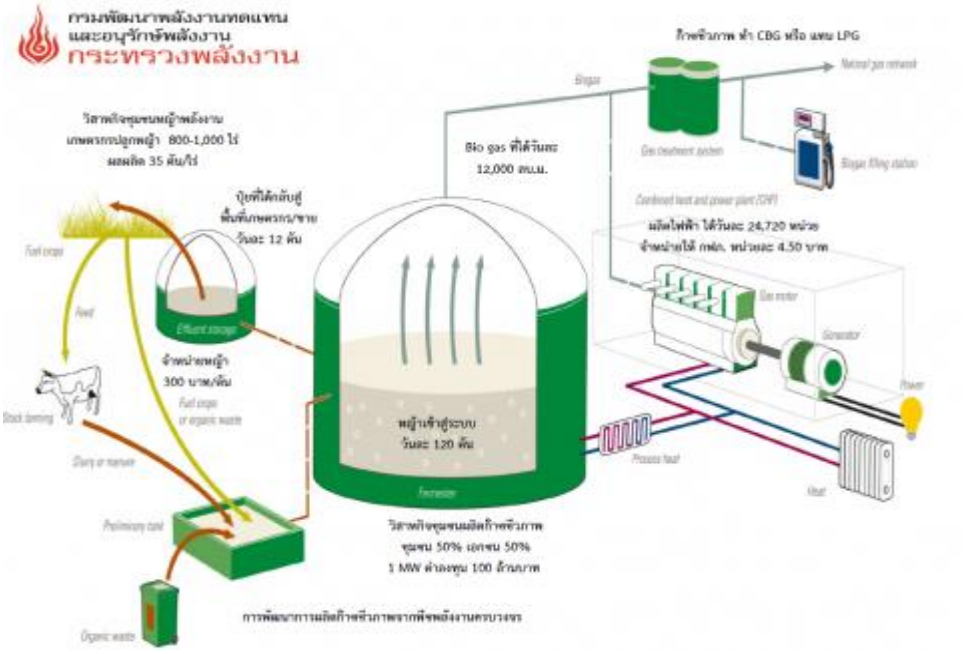
ภาคผนวก ก
(การผลิตก๊าซชีวภาพ)

หญ้าเนเปียร์

หญ้าเนเปียร์ เป็นหญ้าเขตร้อน มีใบหนาและกว้าง ได้มีการนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยประมาณ 30 ปีมาแล้ว มีมากกว่า 130 สายพันธุ์ สายพันธุ์เดิมที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีอยู่ 3 สายพันธุ์ คือ หญ้าเนเปียร์ธรรมดา หญ้าเนเปียร์ยักษ์ (King Grass) และหญ้าเนเปียร์แคระ (Mott Dwarf Elephant Grass) เป็นหญ้าที่ดอกไม่ติดเมล็ด จึงไม่เป็นปัญหาการเป็นวัชพืช เกษตรกรปลูกไว้สำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีผลผลิตสูงเฉลี่ย 40 – 80 ตันสดต่อไร่ต่อปี และมีคุณค่าทางอาหารสูง เป็นพืชชอบแสงเต็มที่ ดินดี มีน้ำเพียงพอแต่ไม่ท่วมขัง การเตรียมดินและการปลูกเหมือนการปลูกอ้อย ปลูกครั้งเดียวสามารถเก็บเกี่ยวได้นานถึง 6 – 7 ปี ต่อมาสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน ทำการวิจัยหญ้าที่เหมาะเป็นพืชพลังงาน จำนวน 20 ชนิด พบว่า หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 เป็นสายพันธุ์ผสมที่เกิดจากการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าไข่มุก สามารถเก็บเกี่ยวได้ปีละ 5 – 6 ครั้ง ให้ผลผลิตต่อไร่สูงสุดประมาณ 70 – 80 ตันสดต่อปีต่อไร่ ซึ่งมากกว่าหญ้าชนิดอื่น เกือบ 7 เท่า มีโครงสร้างสารอาหารเหมาะต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดแก๊ส มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงกว่าหญ้าชนิดอื่น โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 6,860 – 7,840 ลบ.ม./ไร่/ปี สามารถนำมาผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัด (CBG) มีค่าความร้อนประมาณ 14 – 18 MJ/kg ที่สามารถทดแทนก๊าซ NGV ได้ประมาณ 3,118 - 3,563 กก./ปี เหมาะสมต่อการนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนมากกว่าหญ้าชนิดอื่น หญ้าเนเปียร์สดอายุประมาณ 60 วัน เมื่อทำการเก็บเกี่ยวและผ่านกระบวนการหมัก จะเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ได้ผลผลิตเป็น ก๊าซชีวภาพ โดยหญ้าเนเปียร์สด 1 ตัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 90 ลูกบาศก์เมตร เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าประมาณ 170 กิโลวัตต์ต่อวัน

เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2556 คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) ได้ปรับเป้าหมายของแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ในระยะเวลา 10 ปี (พศ. 2555 – 2564) ของประเทศไทย โดยมีเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนเพื่อการผลิตไฟฟ้า จากหญ้าเนเปียร์ เท่ากับ 3,000 เมกะวัตต์ ทางกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ได้เห็นความสำคัญของการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ นำมาผลิตไฟฟ้า ก๊าซหุงต้มหรือก๊าซชีวภาพสำหรับรถยนต์ จึงได้สนับสนุนโครงการศึกษา วิจัย ต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน (ก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน) ด้วยการสนับสนุนงบประมาณก่อสร้างต้นแบบ 20% และมีงบประมาณดำเนินการทั้งโครงการ 350 ล้านบาท ระยะเวลา 54 เดือน โดยส่งเสริมให้เกษตรกรรวมกลุ่มกันเป็นวิสาหกิจชุมชน หรือสหกรณ์การเกษตรทำการปลูกพืชพลังงาน และมีสัญญาซื้อขายกับโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งก๊าซชีวภาพ

ที่ได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ใน 3 รูปแบบ คือ ผลิตไฟฟ้า ผลิตเป็นก๊าซชีวภาพอัด (Compressed Bio Gas, CBG) หรือนำไปใช้แทนก๊าซแอลพีจี และให้มีการดำเนินโครงการต้นแบบในพื้นที่ปลูก 3 แบบ คือ พื้นที่แล้งน้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ และพื้นที่ปลูกข้าวไม่ได้มาตรฐาน มีการดำเนินการสร้างต้นแบบจำนวน 10 ชุมชน ใช้พื้นที่ปลูกหญ้าชุมชนละ 1,000 ไร่ ผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW ต่อแห่ง คิดจากการผลิตไฟฟ้าวันละ 24 ชั่วโมง จำนวน 330 วัน โดยเกษตรกรจะมีกำไรจากจากการปลูกพืชพลังงานในโครงการ อย่างน้อย 3,500 บาทต่อไร่ต่อปี ซึ่งสูงกว่าการปลูกพืชไร่ และไม่มีความผันผวนด้านราคา หากพิจารณาทั้งโครงการจะมีการสนับสนุนให้ปลูกหญ้าจำนวน 10,000 ไร่ ได้ไฟฟ้า 10 MW ซึ่งจะมีการก่อสร้างแล้วเสร็จในปี 2557 หากต้องการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์จำนวน 3,000 MW ตามเป้าหมายแผน 10 ปี จะต้องปลูกหญ้าเนเปียร์ จำนวน 3 ล้านไร่ แต่ถ้าต้องการผลิตเป็นก๊าซชีวภาพอัดหรือนำไปใช้แทนก๊าซแอลพีจีด้วย จะต้องมีการส่งเสริมการปลูกเพิ่มขึ้น

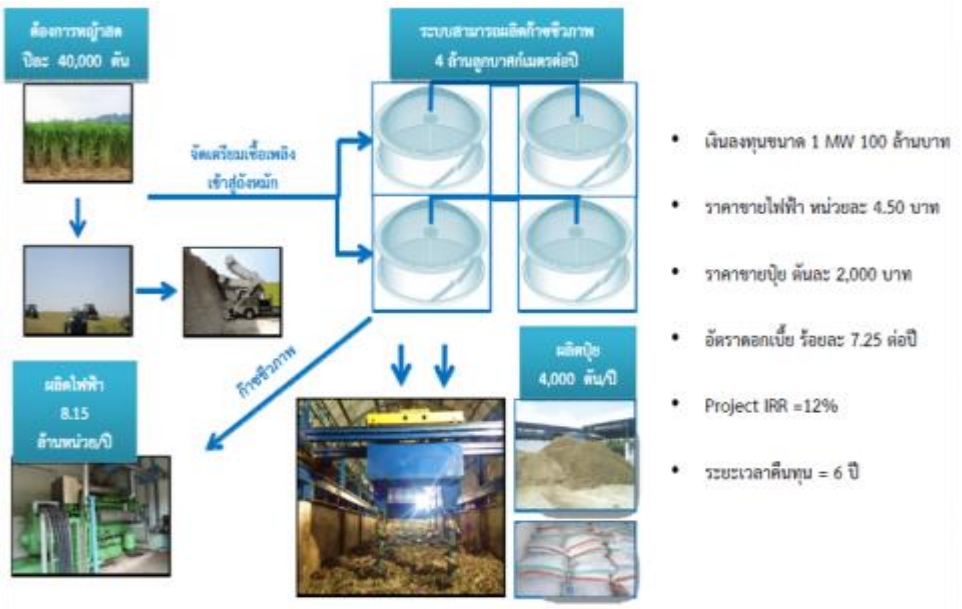


รูปที่ ก-1 ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานครบวงจรขนาด 1 MW
ที่มา : http://webkc.dede.go.th/testmax/node/152

รูปที่ ก-1 แสดงระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานครบวงจรขนาด 1 MW สำหรับ 1 แห่ง โดยต้องการพื้นที่ปลูกหญ้า 800 – 1,000 ไร่ ได้ผลผลิต 35 – 40 ตันต่อไร่ต่อปี ประกันราคารับซื้อ 300 บาทต่อตัน นำหญ้ามาผสมกับ organic waste และ slurry หรือ manure ในถังเตรียม (Primary tank) แล้วส่งเข้าถังหมัก ที่รองรับหญ้าได้ 120 ตันต่อวัน ทำให้ได้ก๊าซชีวภาพวันละ 12,000 ลูกบาศก์เมตร โดยประมาณ 30% นำไปผลิตไฟฟ้าได้วันละ 24,720 หน่วย ที่ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจะให้อัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ Feed-in Tariff หน่วยละ 4.5 บาท และอีกประมาณ 70% นำไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพอัด

หรือนำไปใช้แทนก๊าซแอลพีจีต่อไป และน้ำทิ้งจากถังหมักจะเข้าไปสู่ถังน้ำทิ้ง (Effluent Storage) จะได้ปุ๋ยออกมาอีกวันละ 12 ตัน ราคาประมาณ 2,000 บาทต่อตัน

การลงทุนจะประกอบด้วยกลุ่มเกษตรกรในรูปแบบวิสาหกิจชุมชนหรือหรือสหกรณ์การเกษตรกับเอกชน หรือเจ้าของโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพ ฝ่ายละ 50% เพื่อผลิตไฟฟ้า 1 MW ภายใต้เงินลงทุน 100 ล้านบาท โดย พพ. สนับสนุนไม่เกิน 20% หรือ 20 ล้านบาท มีรายได้จากขายไฟฟ้า 4.5 บาทต่อหน่วย ราคาปุ๋ย 2,000 บาทต่อตัน หากคิดดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 7.25 บาทต่อปี จะได้อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (IRR) เท่ากับ 12% มีระยะเวลาคืนทุน 6 ปี



รูปที่ ก-2 การประเมินการลงทุนของเทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไฟฟ้าจากหญ้าพลังงาน ขนาด 1 MW

ที่มา : http://webkc.dede.go.th/testmax/node/152

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน (Anaerobic digestion)

ก๊าซชีวภาพเกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียเช่นจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (methane-producing bacteria) หรือ เมทาโนเจน และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (acid-producing bacteria) มาช่วยย่อยในสภาวะไร้อากาศ ในกระบวนการย่อยในสภาวะไร้อากาศ เป็นการที่จุลินทรีย์ต่างๆ ทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ ลงจากสิ่งมีชีวิตซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนลงเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยลงเป็นขั้นๆ ไป

กระบวนการหมักย่อยในสภาวะไร้อากาศแบ่งเป็น 4 ขั้นดังนี้

1.ไฮโดรลิซิส(Hydrolysis): สารอินทรีย์(เศษพืชผัก เนื้อสัตว์) มีองค์ประกอบสำคัญคือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน แบคทีเรียจะปล่อยเอ็นไซม์เอกซ์ตราเซลลูลาร์ (extra cellular enzyme) มาช่วยละลายโครงสร้างโมเลกุลอันซับซ้อนให้แตกลงเป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยว (monomer) เช่นการย่อยสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส การย่อยสลายไขมันเป็นกรดไขมัน และการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน

2.แอซิดิฟิเคชั่น หรือ แอซิโดเจเนซิส(Acidification/ Acidogenesis):การย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว (monomer)เป็นกรดระเหยง่าย (volatile fatty acid) กรดคาร์บอน แอลกอฮอลล์ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจน

3.อะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis) เปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเทตซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทน

4.เมทาไนเซชั่น หรือ เมทาโนเจเนซิส (Methanization/Methanogenesis): กรดอะซิติก และอื่นๆ จากขั้น 2 รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนบางส่วน จะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเป็นมีเทนโดยเมทาโนเจน (methanogen)

$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$ กรดอะซิติก มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์

$2CH_3CH_2OH + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2CH_3COOH$ เอทานอล คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน กรดออะซิติก

$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH4_4 + 2H_2O$ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน น้ำ

ปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- **อุณหภูมิในการเดินระบบ (operating temperature)**เมทาโนเจน ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำมากหรือสูงมากได้ ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า1 0 ° Cแบคทีเรียจะหยุดทำงาน
    - อุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็นสองระดับตามสปีชีส์ของเมทาโนเจน ได้แก่เมโซฟิลิก (Mesophilic)และเทอร์โมฟิลิก(Thermophilic)
        - อุณหภูมิที่เหมาะที่เมโซฟิลิก ทำงานได้ดีคือประมาณ 20 °C – 45 °C แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ช่วง 37 °C – 41 °C โดยในช่วงอุณหภูมิระดับนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็นเมโซฟิลิก
        - เทอร์โมฟิลิก ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือประมาณ 50 °C – 52 °C แต่ก็สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง 70 °C

แบคทีเรียMเมโซฟิลิกนั้นมีจำนวนสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิกอีกด้วย ทำให้ระบบหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้เมโซฟิลิกเสถียรกว่า แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิซึ่งสูงกว่าในระบบที่ใช้เทอร์โมฟิลิกก็เป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซสูงกว่า ข้อเสียอีกข้อของระบบเทอร์โมฟิลิก คือการที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาเพิ่มความร้อนให้ระบบ ทำให้อาจได้พลังงานสุทธิที่ต่ำกว่า

- **ความเป็นกรด-ด่าง (pH Value)** ค่าpH ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพคือระหว่าง 7.0 – 7.2 ค่าpHในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่าpHลดลง ซึ่งถ้าหากpHลดลงต่ำกว่า5ก็จะหยุดกระบวนการย่อยและหมักทั้งหมดหรืออีกนัยหนึ่งก็คือแบคทีเรียตาย Methanogen นั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรดด่างมาก และจะไม่เจริญเติบโตหากpHต่ำกว่า6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของ NH4 จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าpHเพิ่มโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียร pH จะอยู่ระหว่าง 6.8 – 8

- **อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N Ratio)** อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพคือตั้งแต่ 8– 30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพคือประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สูงมาก ไนโตรเจนจะถูกMethanogenนำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้าหากC/N Ratio ต่ำมากๆ ก็จะทำให้ไนโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่าpHซึ่งถ้าหากค่าpHสูงถึง8.5ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียทำให้จำนวนMethanogen

ลดลง นอกจากนี้หากC/N ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่นๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น
มูลสัตว์โดยเฉพาะวัวควายมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาก็ได้แก่พวกดอกจอกผักตบและเศษอาหาร ขณะที่ฟางมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ค่อนข้างจะสูง อย่างไรก็ตามสามารถนำวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาผสมกับวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำได้ เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต้องการ

- **ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ(Loading)** ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบคือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ซึ่งถ้าหากว่าปริมาณที่เราเติมนั้นมากเกินไป ก็จะส่งผลให้ค่า pH ลดลงมากเกินไป(เนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการคือ acidogenesis กรดจะถูกผลิตขึ้นมา)จนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจาก methanogen ตายหมด ซึ่งหากสิ่งนี้เกิดขึ้นจริงก็จะต้องเริ่มต้นระบบใหม่หมด แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยก๊าซที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย เท่ากับว่าไม่ได้เดินระบบเต็มตามกำลังการผลิต ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่เกินไปโดยไม่จำเป็น

- **ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time)** ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบ/ถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่พอสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่าpHในถังหมักลดลงขึ้น ขณะเดียวกัน การที่ระยะเวลากักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14- 60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่าTSC อุณหภูมิขนาดและประเภทของdigesterและปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไหร่โดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไหร่ก็ตามที่แบคทีเรียยังย่อยอาหารไม่หมดก็หมายความว่าแบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร

- **ปริมาณของแข็ง (Total Solid Content, TSC)**
    - Solid content ของสารอินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบ่งเป็นสองระดับคือ
        - High-solid (ปริมาณของแข็งสูง) TSC สูงกว่า ~ 20%
        - Low-solid (ปริมาณของแข็งต่ำ) TSC ต่ำกว่า ~ 15%

ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์ high solid จะต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสูบน้ำตะกอน (slurry) แต่เนื่องจากในระบบ high solid ความเข้มข้นของน้ำในถังหมักสูงกว่า พื้นที่ที่ใช้ก็จะน้อยกว่า ในทางกลับกัน ถังหมัก Low solid สามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปที่ใช้พลังงานน้อยกว่าสูบน้ำตะกอน แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่าเนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูงขึ้น กระนั้นก็ดี การที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ดีขึ้นและการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึงก็ช่วยให้การย่อยและการผลิตก๊าซเร็วขึ้น

- **การคลุกเคล้า (Mixing)** การคลุกเคล้าตะกอน น้ำ และ สารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วน เพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การเกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย(Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง
- **สารอาหาร(nutrient)** สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโต นอกเหนือไปจากคาร์บอนและไฮโดรดเจนแล้ว ยังมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม นอกจากนี้ก็มีธาตุที่จำเป็นในปริมาณน้อยมาก ๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิบดินัม สังกะสี โคบอลต์ ซิลิเนียม ทังเสตน และนิเกิลเป็นต้น แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับที่สมดุลพอเพียง เพราะฉะนั้น ในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใด ๆ ลงไป
- **สารยับยั้งและสารพิษ (inhibiting and Toxic Materials)** เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออน, สารพิษ, โลหะหนัก, สารทำความสะอาดต่าง ๆ เช่นสบู่ น้ำยาล้างต่าง ๆ และยาปฏิชีวนะ สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซของแบคทีเรียได้ ธาตุไอออนในปริมาณน้อย(เช่น โซเดียม, โปแตสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, ซัลเฟอร์, แอมโมเนียม)สามารถช่วยกระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรียเช่นกัน แต่ถ้าหากปริมาณนั้นมากก็จะส่งผลเป็นพิษได้ ยกตัวอย่างเช่นแอมโมเนียในปริมาณ50-200มิลิกรัมต่อลิตรจะเป็นผลดีช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า1,500 มิลิกรัมต่อลิตรก็จะเริ่มส่งผลเสีย ในทางเดียวกัน โลหะหนักบางประเภท(เช่น ทองแดง, นิเกิล, โครเมียม, สังกะสี, ตะกั่ว และอื่น ๆ) ในปริมาณที่น้อย ๆ ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นสูงก็จะเป็นพิษ
- **อัลคาลินิตี้ (Alkalinity)** ค่าอัลคาลินิตี้ หมายถึง ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง ค่าอัลคาลินิตี้ที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าประมาณ ๑,๐๐๐-๕,๐๐๐ มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอร์เนต ($CaCO_3$)
- ชนิดและแบบของบ่อแก๊สชีวภาพ (Biogas Plant) บ่อแก๊สชีวภาพ แบ่งตามลักษณะการทำงาน ลักษณะของของเสียที่เป็นวัตถุดิบและประสิทธิภาพการทำงานได้เป็น ๒ ชนิดใหญ่ ดังนี้

- บ่อหมักช้าหรือบ่อหมักของแข็ง บ่อหมักช้าที่มีการสร้างใช้ประโยชน์กันและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป มี ๓ แบบหลักคือ
    - แบบยอดโดม (fined dome digester)
    - แบบฝาครอบลอย (floating drum digester) หรือแบบอินเดีย (Indian digester)
    - แบบพลาสติกคลุมราง (plastic covered ditch) หรือแบบปลั๊กโฟลว์ (plug flow digester)

- บ่อหมักเร็วหรือบ่อบำบัดน้ำเสีย แบ่งได้เป็น ๒ แบบหลัก คือ
    - แบบบรรจุตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) หรืออาจเรียกตามชื่อย่อว่า แบบเอเอฟ (AF) ตัวกลางที่ใช้ทำได้จากวัสดุหลายชนิด เช่น ก้อนหิน กรวด พลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ไม้ไผ่ตัดเป็นท่อน เป็นต้น ในลักษณะของบ่อหมักเร็วแบบนี้ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนบนตัวกลางที่ถูกตรึงอยู่
    - แบบยูเอเอสบี (UASB หรือ Upflow Anaerobic Sludge Blanker) บ่อหมักเร็วแบบนี้ใช้ตะกอนของสารอินทรีย์ (sludge) ที่เคลื่อนไหวภายในบ่อหมักเป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะ ลักษณะการทำงานของบ่อหมักเกิดขึ้น โดยการควบคุมความเร็วของน้ำเสียให้ไหลเข้าบ่อหมักจากด้านล่างขึ้นสู่ ด้านบนตะกอนส่วนที่เบาจะลอยตัวไปพร้อมกับน้ำเสียที่ไหลล้นออกนอกบ่อตะกอนส่วนที่หนัก จะจมลงก้นบ่อ

การทำถังหมักและถังเก็บก๊าซชีวภาพ

อุปกรณ์

1.ถังพลาสติกขนาดบรรจุ 200 ลิตร 1 ใบ พร้อมฝาปิด

2. ถังพลาสติกขนาดบรรจุ 200 ลิตร 1 ใบ เปิด

3. ถังพลาสติกขนาดบรรจุ 180 ลิตร 1 ใบ

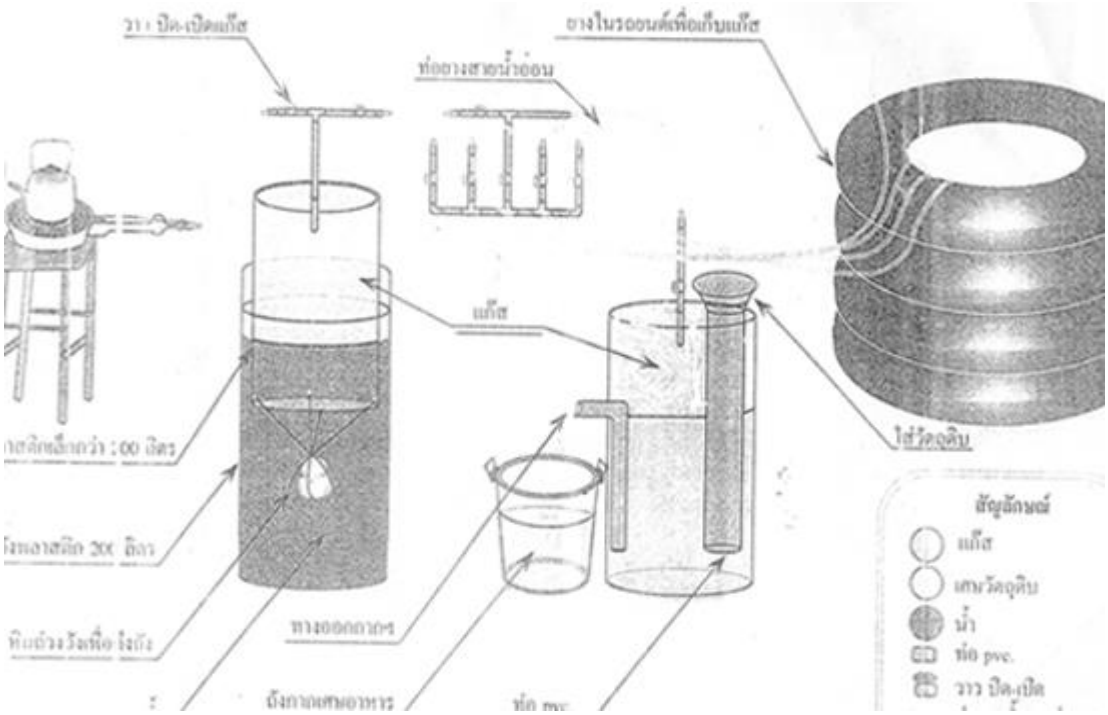
4. ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว

5. ข้อต่อท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้วเกลียวนอกและเกลียวใน จำนวน 4 ตัว ข้อต่องอ 1 ตัว

6. ท่อ PVC 4 เกลียวนอกเกลียวใน วาวเปิด-ปิด

7. ท่อยางน้ำสายอ่อน

8. กาวซิลิโคน



รูปที่ ก-3 การทำอุปกรณ์การหมักและการเก็บก๊าซชีวภาพ

ที่มา : https://www.gotoknow.org/posts/238707

วิธีทำถังหมักแก๊ส

1. เจาะถังด้านบนเพื่อใส่มูลโค ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ยาวเกือบถึงก้นถัง ด้านบนที่เติมมีฝาปิด เพื่อใส่เศษอาหารแต่ละมื้อ กับช่องประคองแกนกวนปฏิกูล
2. เจาะถังด้านข้างถัง ขนาด 2 นิ้ว เพื่อให้สิ่งปฏิกูลที่ย่อยสลายแล้วไหลออกและใช้ข้อต่องอสูงขึ้นบน
3. เจาะรูถังด้านบน ขนาด 4 หุน ใส่วาวปิดปิดด้านบนเพื่อนำแก๊สไปใช้หรือเก็บ
4. ถังสำหรับใส่สิ่งปฏิกูล
5. สายยางอ่อนเพื่อใช้ต่อสายไปใช้และเก็บ

วิธีทำถังเก็บแก๊ส

1. นำถัง 200 ลิตร เปิดฝาและใส่น้ำให้เต็ม
2. ใช้ถัง 180 ลิตร เปิดฝาและคว่ำลงในถังแรก
3. เจาะรูก้นถัง 180 ลิตร 1 รู เพื่อใช้แก๊สและเก็บ

รูปที่ ก-4 ถังหมักก๊าซชีวภาพ

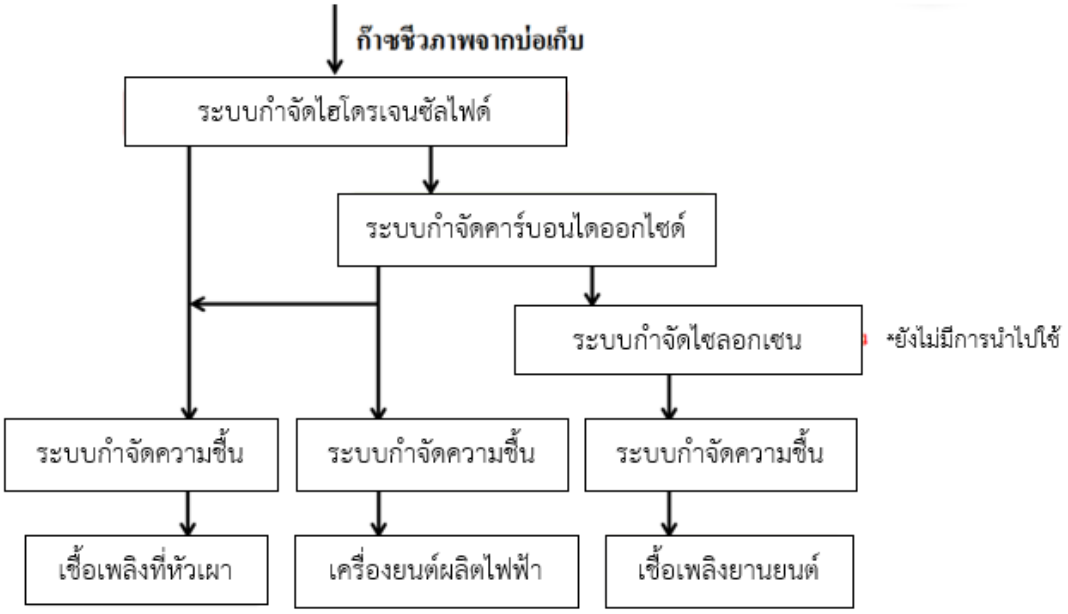
ที่มา : https://www.gotoknow.org/posts/238707

รูปที่ ก-5 ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

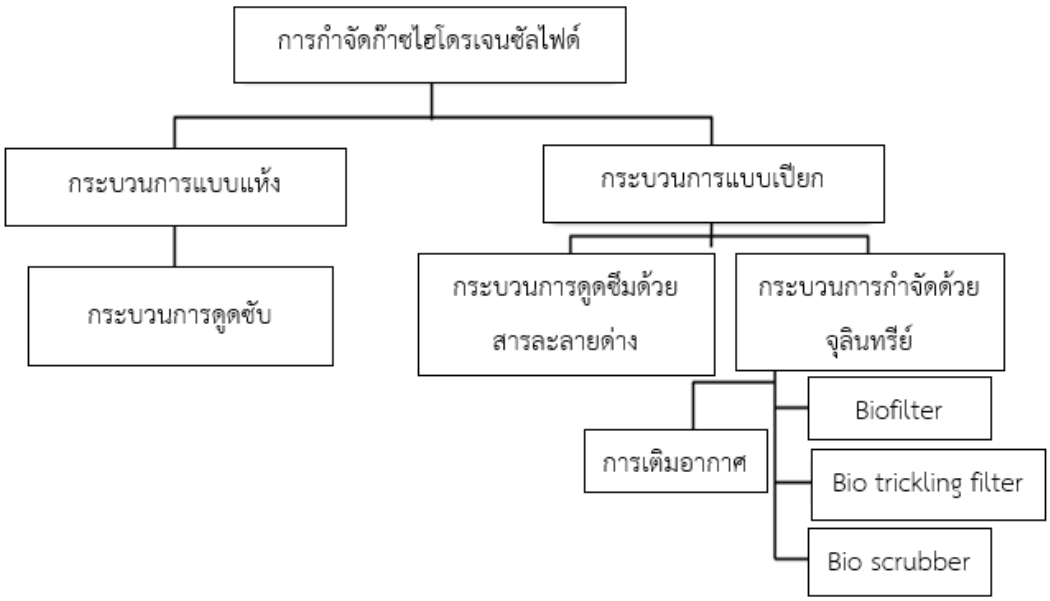
ที่มา : https://www.gotoknow.org/posts/238707

การบำบัดก๊าซชีวภาพก่อนนำไปใช้งาน

1. **เทคโนโลยีที่ใช้บำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ H_2S มีดังนี้**



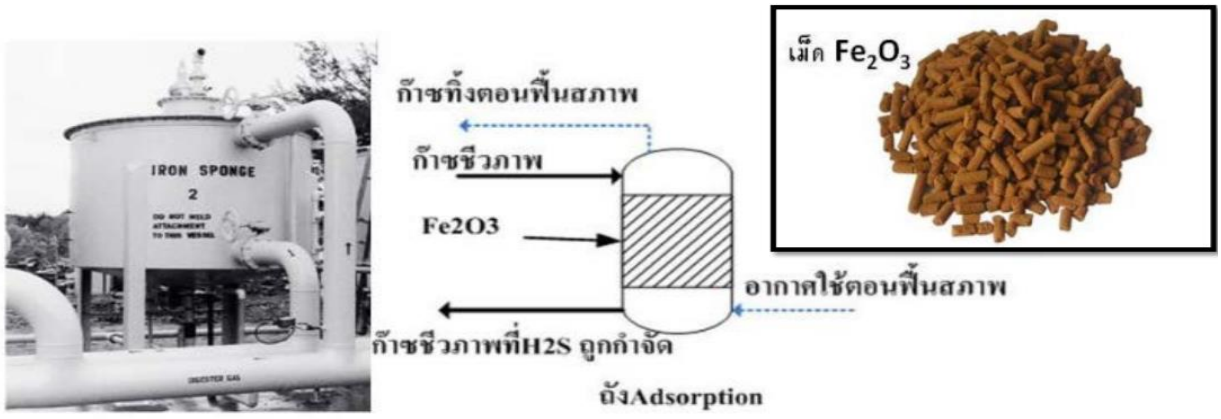
รูปที่ ก-6 เทคโนโลยีที่ใช้บำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ H_2S



รูปที่ ก-7 การกำจัดก๊าซไฮโดรซัลไฟด์

1.1 กำจัด H_2S โดยกระบวนการอบแห้ง

กระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S Adsorption)



รูปที่ ก-8 กระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบแห้ง (H_2S Adsorption)

ที่มา : คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

- ก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไหลผ่านสารดูดซับ จะมีการจับก๊าซ H_2S เกิดขึ้น สารดูดซับ เช่น Activated , Iron oxide (Fe_2O_3) ในรูปผงหรือเม็ด (Pellet) Fe_2O_3 หรือใช้ฝอยเหล็กที่เป็นสนิม
- เมื่อมีการจับก๊าซไฮโดรเจนซับไฟด์จนอิ่มตัวแล้ว ต้องเปลี่ยนสารดูดซับใหม่ แล้วนำสารดูดซับที่อิ่มตัวไปฟื้นสภาพ (Regenerate) ด้วยอากาศ และนำกลับมาใช้ใหม่ได้

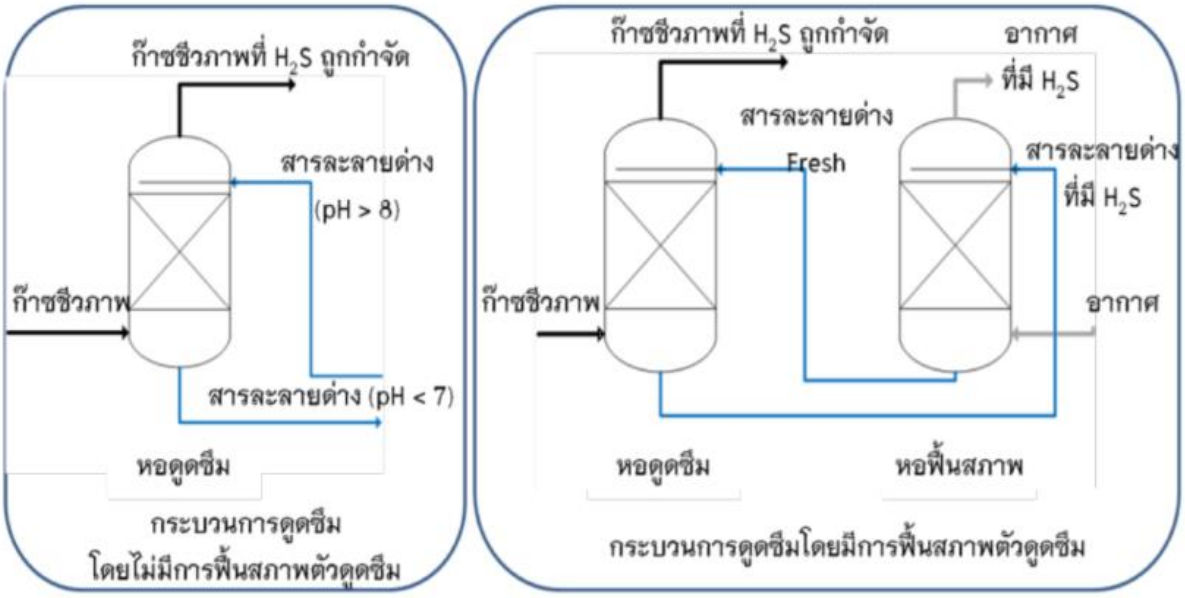
วิธี Adsorption จะต้องมีถังปฏิกรณ์หลายใบที่ทำงานและสำรองไว้ระหว่างการฟื้นสภาพ และควรใช้ถังสแตนเลส เนื่องจากระหว่างการฟื้นสภาพจะมีอุณหภูมิสูงมาก และต้องระวังการเกิดไฟไหม้

รูปที่ ก-9 วิธี Adsorption

1.2 กำจัด H_2S โดยกระบวนการแบบเปียก

กระบวนการดูดซึมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยสารละลายด่าง (H_2S Absorption)

กระบวนการดูดซึมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S Absorption) เพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายด่าง มีทั้งแบบการฟื้นสภาพตัวดูดซึม และแบบไม่มีการฟื้นสภาพตัวดูดซึมควรใช้น้ำ pH >8 อุณหภูมิต่ำ (~10°C)



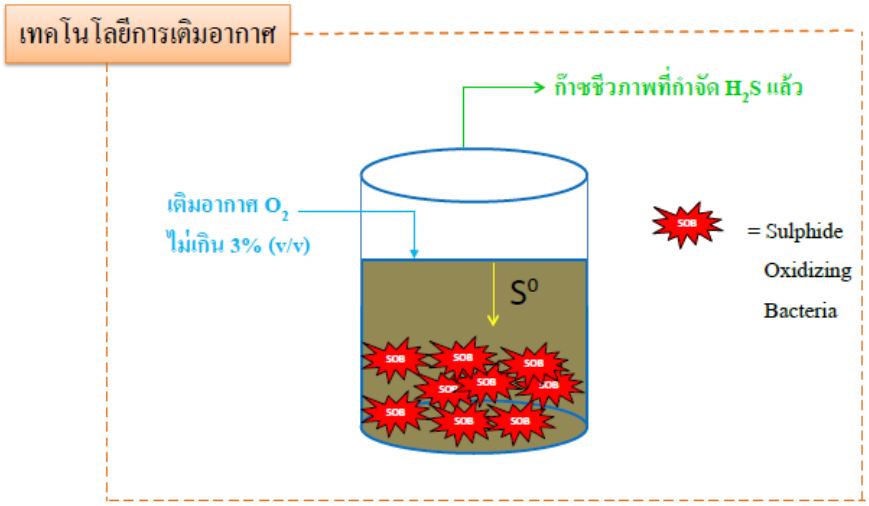
รูปที่ ก-10 กระบวนการดูดซึมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบเปียก (H_2S Absorption)

ที่มา : คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

กระบวนการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยจุลินทรีย์

การกำจัดก๊าซ H_2S อาศัยกลุ่มของเชื้อแบคทีเรียประเภท Sulphide Oxidizing Bacteria ซึ่งใช้ออกซิเจนในการเปลี่ยนก๊าซ H_2S ให้อยู่ในรูปของกำมะถัน (S) แต่ถ้าในกรณีที่มีการให้ออกซิเจนมากเกินไปก๊าซ H_2S จะถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟต สามารถแบ่งเทคโนโลยีได้หลายแบบ ดังนี้

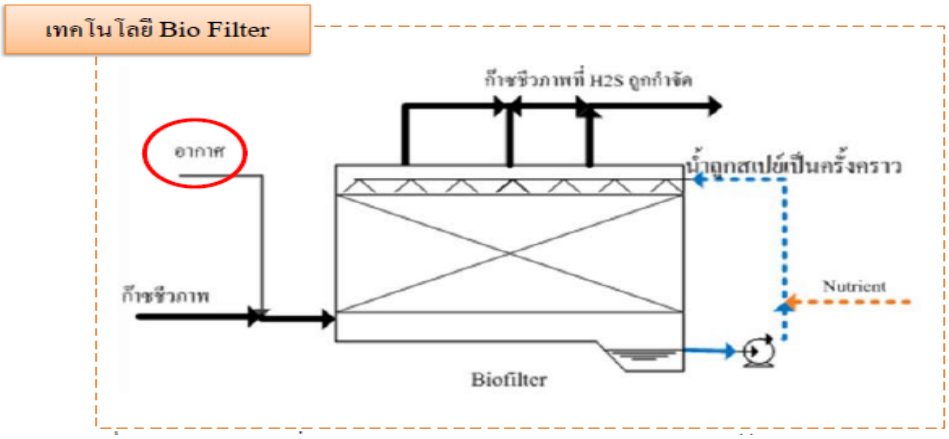
1) เทคโนโลยีการเติมอากาศ



รูปที่ ก-11 เทคโนโลยีการเติมอากาศ

กำจัดก๊าซ H_2S ด้วยการเติมอากาศที่ผิวหน้าของน้ำในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเปลี่ยนก๊าซ H_2S ให้อยู่ในรูปของกำมะถัน และย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย ต้องมีการควบคุมปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าโดยวัดจากความเข้มข้นของออกซิเจนในก๊าซชีวภาพไม่ให้เกิน 3% (V/V) ในถังปฏิกรณ์ต้องมีกลุ่มเชื้อแบคทีเรียประเภท Sulphide Oxidizing Bacteria อยู่ด้วย

2) เทคโนโลยี Biofilter

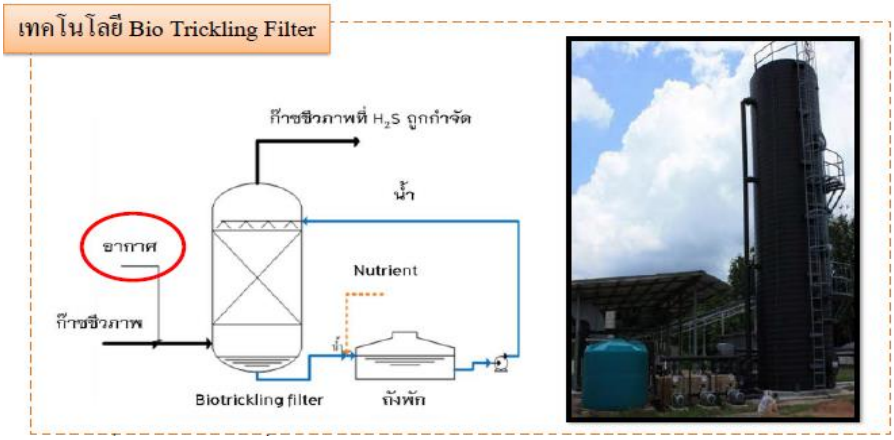


รูปที่ ก-12 เทคโนโลยี Biofilter

ที่มา : คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

การกำจัด H_2S ด้วยการเติมอากาศเข้าท่อก๊าซชีวภาพ โดยบนตัวกลางจะมีแบคทีเรียประเภท Sulphide Oxidizing Bacteria เกาะติดและเจริญเติบโตอยู่ที่ผิวในรูพรุน เมื่อก๊าซไหลผ่านตัวกลาง ก๊าซ H_2Sจะละลายในน้ำแล้วแบคทีเรียจะเปลี่ยนให้เป็นกำมะถัน เทคโนโลยีดังกล่าวต้องมีการฉีดสเปรย์น้ำเป็นครั้งคราวเพื่อทำให้ตัวกลางมีความชื้น

3) เทคโนโลยี BiotricklingFilter

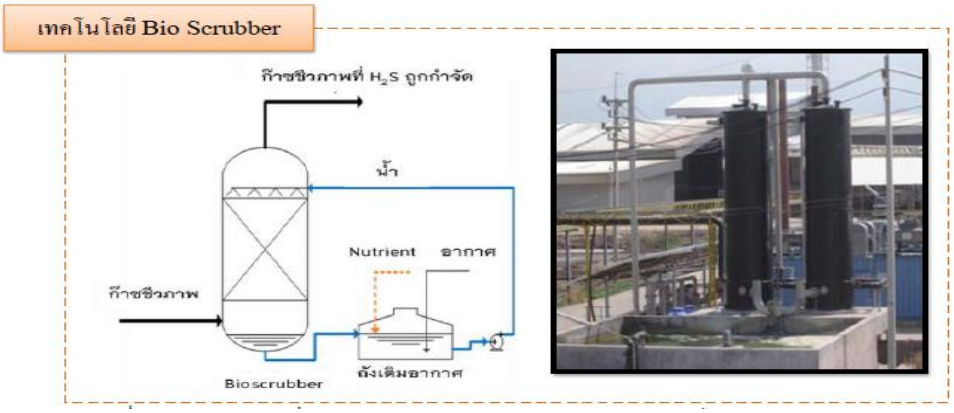


รูปที่ ก-13 เทคโนโลยี BiotricklingFilter

ที่มา : คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

การกำจัด H_2S ด้วยการเติมอากาศเข้าท่อก๊าซ อาศัยหลักความสามารถในการละลายน้ำของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ค่า pH สูง เทคโนโลยีนี้ประกอบด้วย หอดูดซึม (Absoroption column) มีลักษณะเป็น Column ที่มีชั้นของตัวกลาง การไหลของก๊าซจะเป็นการไหลขึ้น (Upflow) และการไหลแบบ Cross flow โดยที่บนตัวกลางใน Column จะมีแบคทีเรียประเภท Sulphide Oxidizing Bacteria เกาะติดและเจริญเติบโตอยู่ที่ผิวของตัวกลาง ความเข้มของก๊าซออกซิเจนในก๊าซชีวภาพไม่ควรเกิน 3%(V/V) ก๊าซ H_2S จะละลายลงในน้ำ ถูกแบคทีเรียเปลี่ยนเป็นกำมะถันติดอยู่บนตัวกลาง ต้องมีการหมุนวนน้ำตลอดเวลาเพื่อให้มีการจับไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เต็มที่

4) เทคโนโลยี Bioscrubber



รูปที่ ก-14 เทคโนโลยี Bioscrubber

ที่มา : คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

การกำจัดก๊าซ H_2S โดยใช้น้ำที่เป็นด่างไหลผ่านหอดูดซึมที่มีตัวกลางพลาสติกเพื่อดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ และไหลเข้าบ่อเติมอากาศเพื่อย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย เทคโนโลยีประเภทนี้ประกอบไปด้วย หอดูดซึม(Absoroption column) มีลักษณะเป็น Column ที่มีชั้นของตัวกลาง ได้แก่ Plastic packing การไหลของก๊าซจะเป็นแบบไหลขึ้น (Upflow) หอดูดซึมที่มีตัวกลางอยู่ด้านในจะทำหน้าที่ในการจับก๊าซ H_2S มีบ่อเติมอากาศที่เลี้ยงแบคทีเรียประเภท Sulphide Oxidizing Bacteria และควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ให้มีค่าระหว่าง 0-1 มก./ลิตร ตลอดเวลา

ข้อควรระวัง : ระบบกำจัด H_2S ที่ใช้กระบวนการแบบเปียก (Wet process) โดยการย่อยสลาย H_2S ด้วยแบคทีเรียแบบใช้อากาศ มักทำให้เกิดเมือก ตะกอนในระบบกำจัดและท่อส่งก๊าซ

รูปที่ ก-15 เมือก ตะกอนในระบบกำจัดและในท่อส่งก๊าซ

ระบบกำจัด H_2S ที่ใช้กระบวนการแบบเปียก (Wet process) จะมีละอองน้ำและความชื้นหลุดไปในระบบท่อ ซึ่งอาจทำให้เมือกตะกอนไปสร้างปัญหากับอุปกรณ์การใช้งานต่อไป ถ้าไม่มีการดักจับน้ำและความชื้นที่ดี

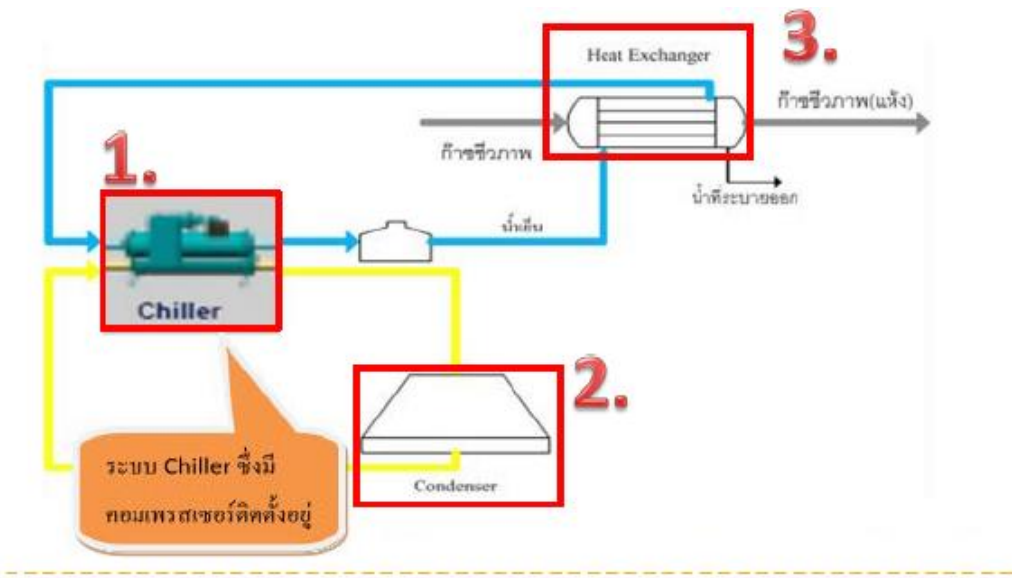
เทคโนโลยีที่ใช้กำจัดความชื้นและละอองน้ำ

ความชื้นและละอองน้ำ ทำให้เกิดการสะสมของน้ำในท่อที่ตกท้องช้างหรือบริเวณจุดต่ำสุดของท่อส่งก๊าซ ทำให้ปิดกั้นการไหลของก๊าซชีวภาพ ช่วยให้เกิดเมือกตะกอน โฟม ทำให้อุปกรณ์ความปลอดภัยอุดตัน ทำให้เกิดกรดคาร์บอนิคและกรดที่เกิดจากการแตกตัวของซัลไฟด์อิออน ทำให้เชื้อเพลิงจุดไม่ติดหรือติดแต่ติดแล้วดับ

รูปที่ ก-16 เทคโนโลยีที่ใช้กำจัดความชื้นและละอองน้ำ

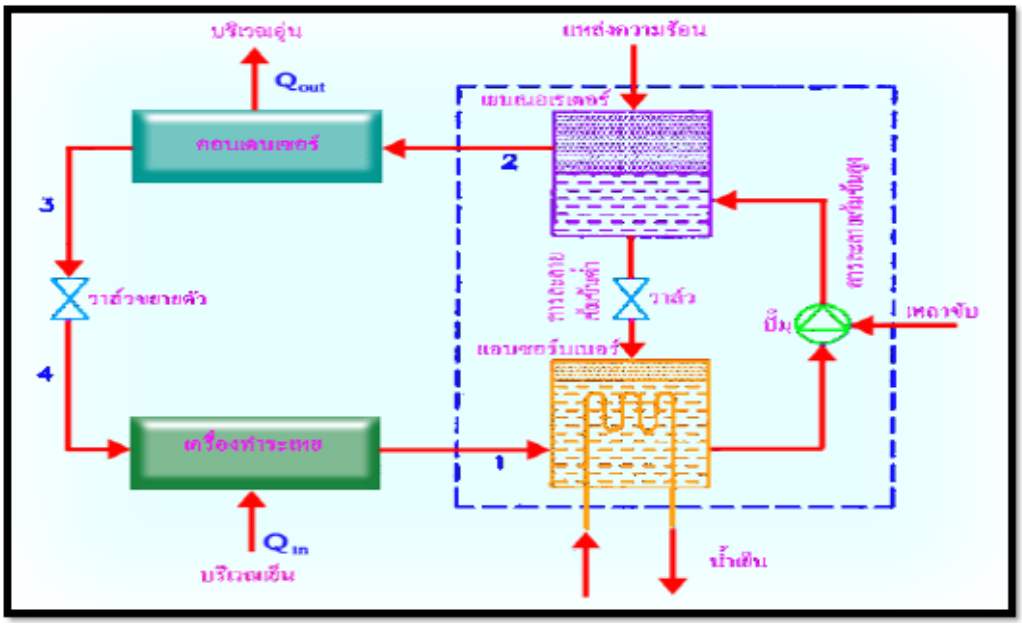
การกำจัดความชื้น กำจัดโดยใช้เครื่องกำจัดความชื้นที่ใช้หลักการลดอุณหภูมิของก๊าซ ซึ่งทำได้ 2 ลักษณะ

4.2.2.1 การแลกเปลี่ยนความร้อนทางอ้อม คือการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซชีวภาพกับน้ำเย็น (Chiller) มีองค์ประกอบอยู่ 3 ขั้นตอน



รูปที่ ก-17 ระบบ chiller

ที่มา : คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม



รูปที่ ก-18 ระบบการทำความเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้สารละลายน้ำ-แอมโมเนีย

การแลกเปลี่ยนความร้อนทางตรง คือการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซชีวภาพกับสารทำความเย็น (Refrigerant)

รูปที่ ก-19 ระบบ Refrigerantion การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซชีวภาพกับสารทำความเย็น

การแยกน้ำออกจากก๊าซชีวภาพ

- อุปกรณ์แยกน้ำออกจากก๊าซชีวภาพ : ถังดักแบบใช้แผ่นปะทะ , ถังดักน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Cyclonic Moisture Separator)

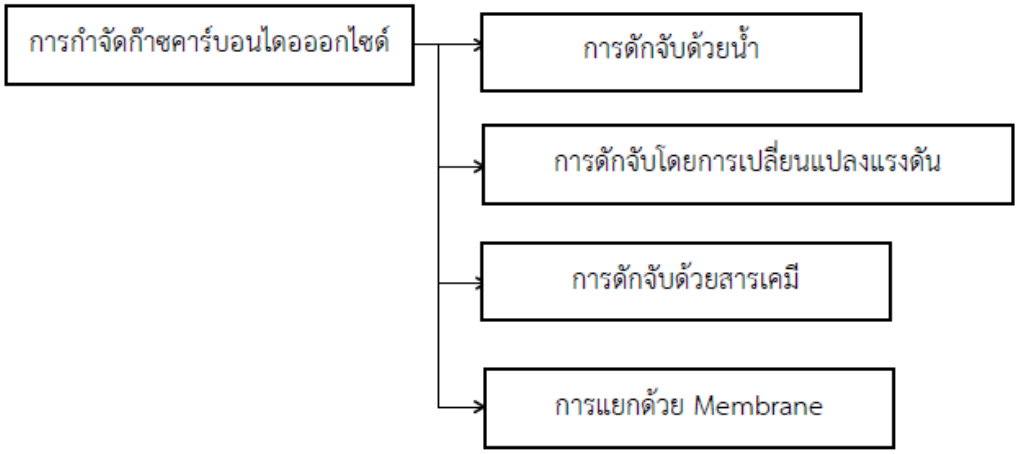
รูปที่ ก-20 อุปกรณ์แยกน้ำออกจากก๊าซชีวภาพ

ตำแหน่งของเครื่องกำจัดความชื้น

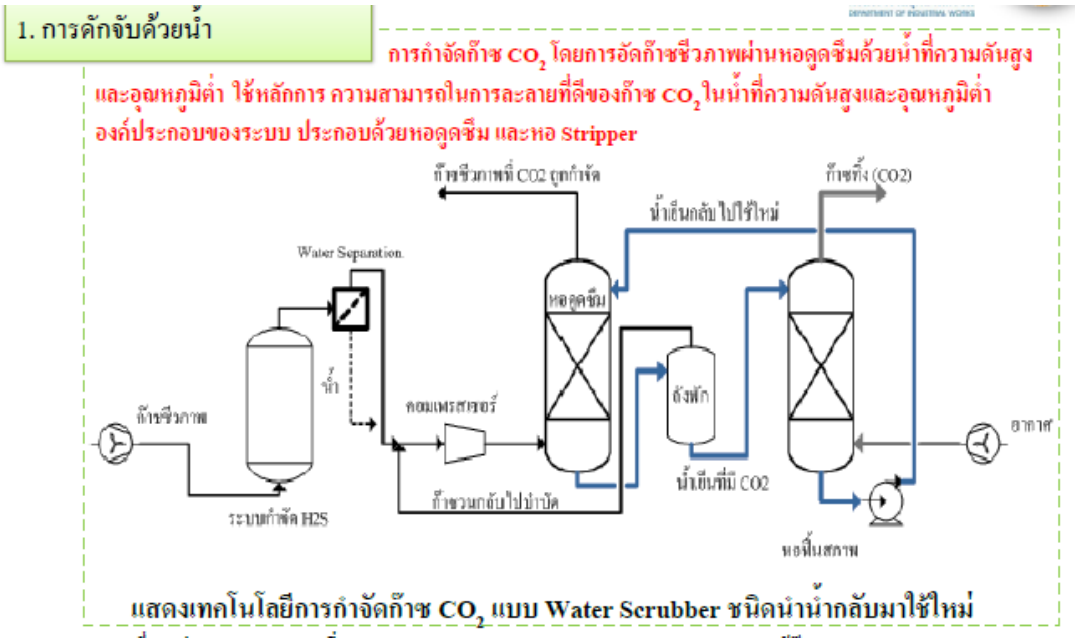
- ถ้าเครื่องกำจัดความชื้นอยู่ด้านดูดของ Blower ให้ระวังเรื่องการระบายน้ำออกจากระบบเนื่องจากความดันในเครื่องกำจัดความชื้นจะใกล้เคียงหรือต่ำกว่าบรรยากาศควรมีท่อพักน้ำเพื่อเพิ่ม Static head ของน้ำก่อนเข้าวาล์วระบายน้ำอัตโนมัติ
- ถ้าเครื่องกำจัดความชื้นอยู่ด้านส่งของ Blower ก๊าซชีวภาพอาจเย็นเกินไปจนไม่เหมาะกับการใช้งานโดยตรง ควรเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซชีวภาพโดยใช้ความร้อนจากระบบคอนเดนเซอร์ ก่อนนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

เทคโนโลยีที่ใช้กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ปัญหาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพ

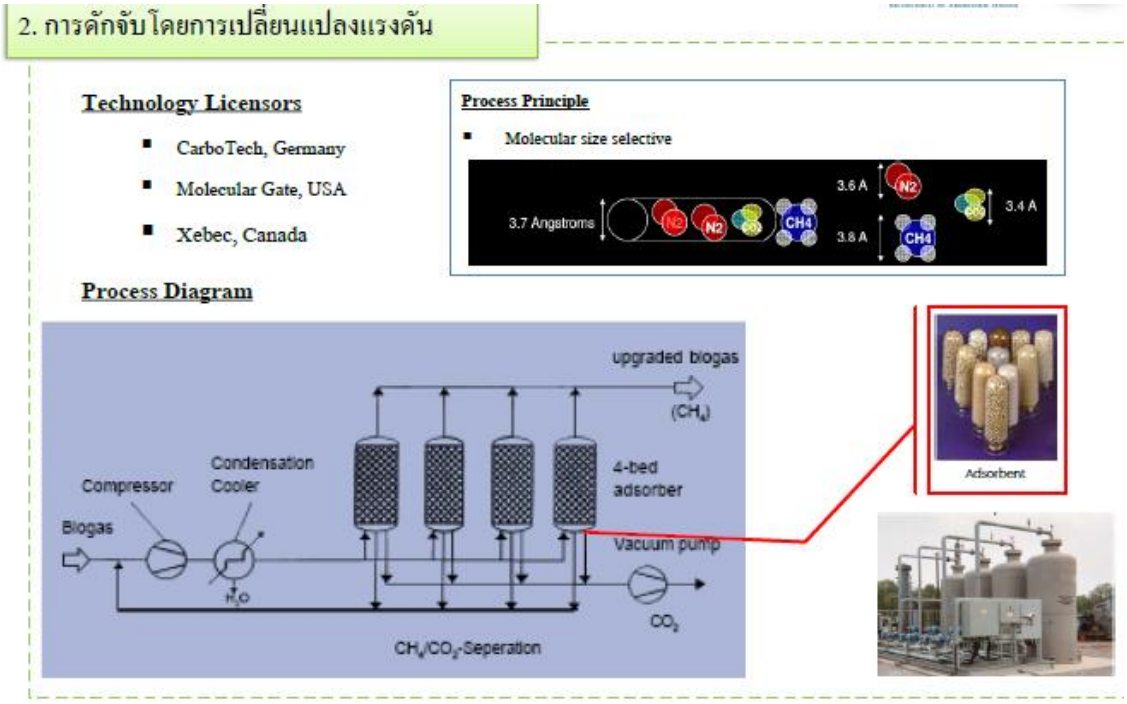
- เป็นก๊าซเฉื่อยที่ไม่ให้พลังงานความร้อนในการเผาไหม้
- ทำให้ค่าความร้อนในก๊าซชีวภาพต่ำลงจนเป็นเชื้อเพลิงที่ด้วยคุณภาพ (Low grade)
- ทำให้ก๊าซชีวภาพติดไฟได้ยากขึ้น ลุกไหม้ช้าลงจนเป็นเหตุให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่หมดภายในห้องเผาไหม้
- เป็นก๊าซที่รับความร้อนจากการเผาไหม้และพาความร้อนไปทิ้งทางปล่องไอเสีย
- เมื่อก๊าซนี้รวมตัวกับน้ำหรือความชื้นจะเกิดเป็นกรดคาร์บอนิค (H_2CO_3) ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ



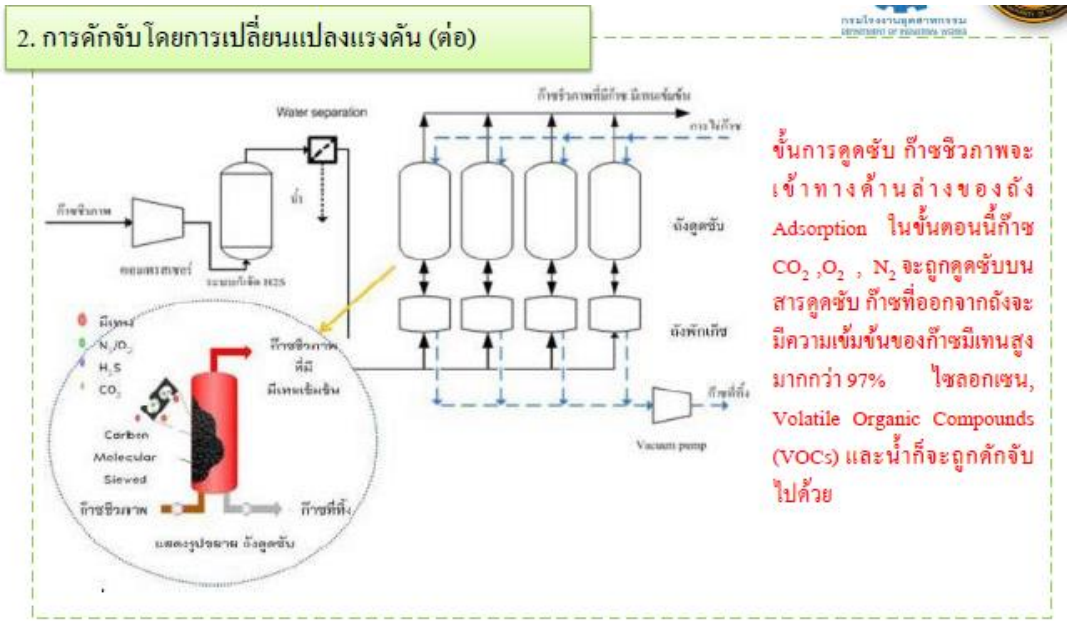
รูปที่ ก-21 แผนภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ ก-22 การดักจับด้วยน้ำ



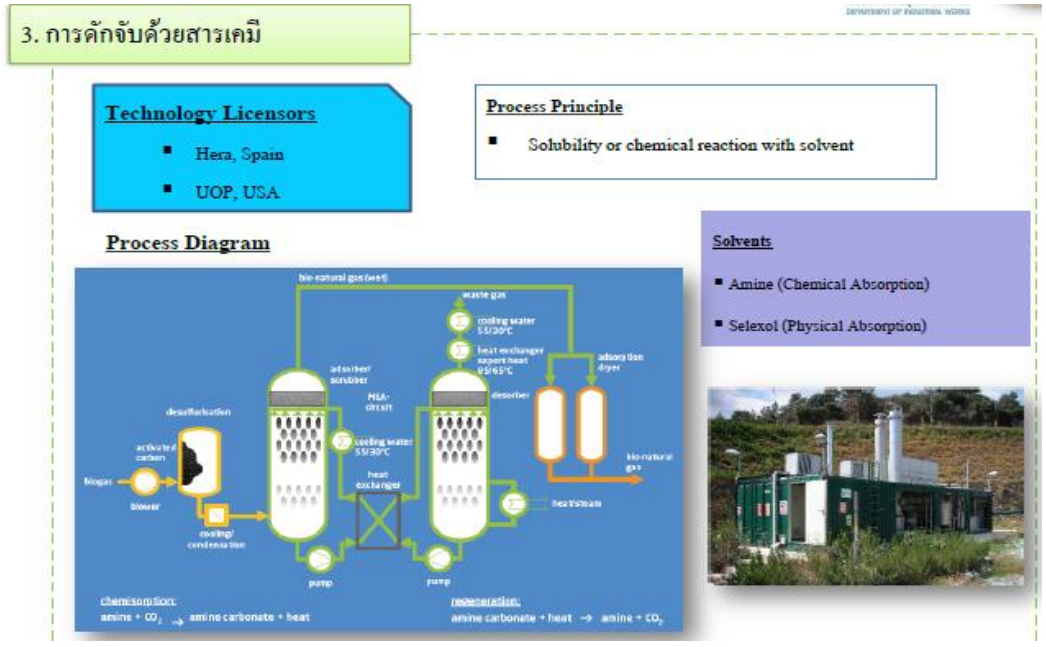
รูปที่ ก-23 การดักจับโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดัน



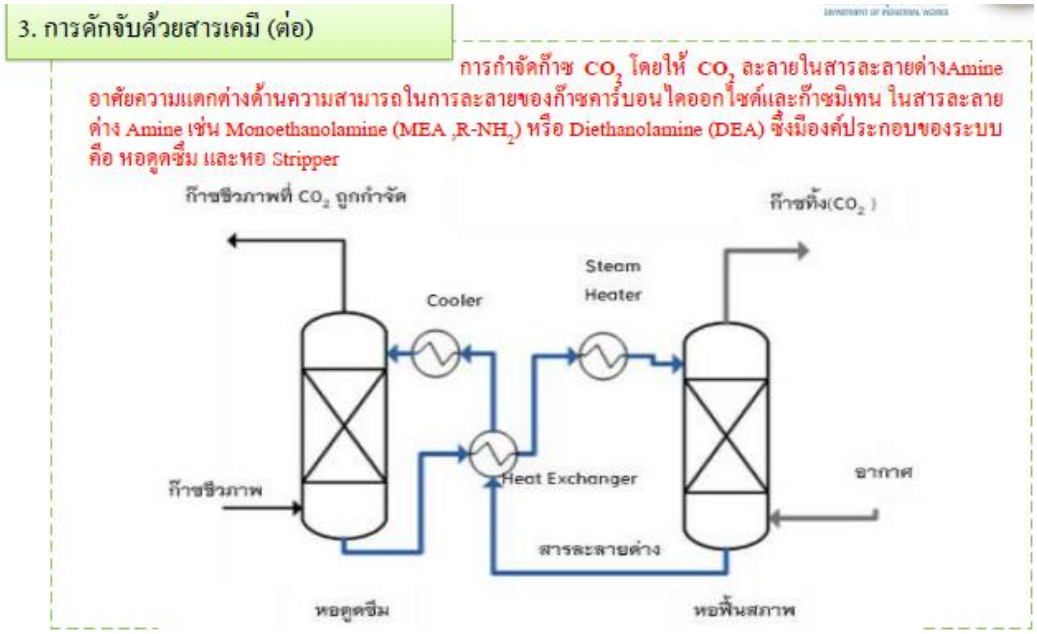
รูปที่ ก-24 การดักจับโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดัน (ต่อ)

ขั้นตอนการดูดซับจะหยุดลง ถังที่ได้รับการฟื้นสภาพแล้วจะทำหน้าที่เป็นถังดูดซับแทนที่ ส่วนถังที่อิ่มตัวจะเข้าสู่สถานะการฟื้นสภาพ โดยปรับลดความดันลงจนถึงความกันบรรยากาศ ก๊าซที่ออกมาจากถังในช่วงการลดความดันอาจมีก๊าซมีเทนปะปนบ้าง ซึ่งจะมีการวนกลับไปดูดซับใหม่

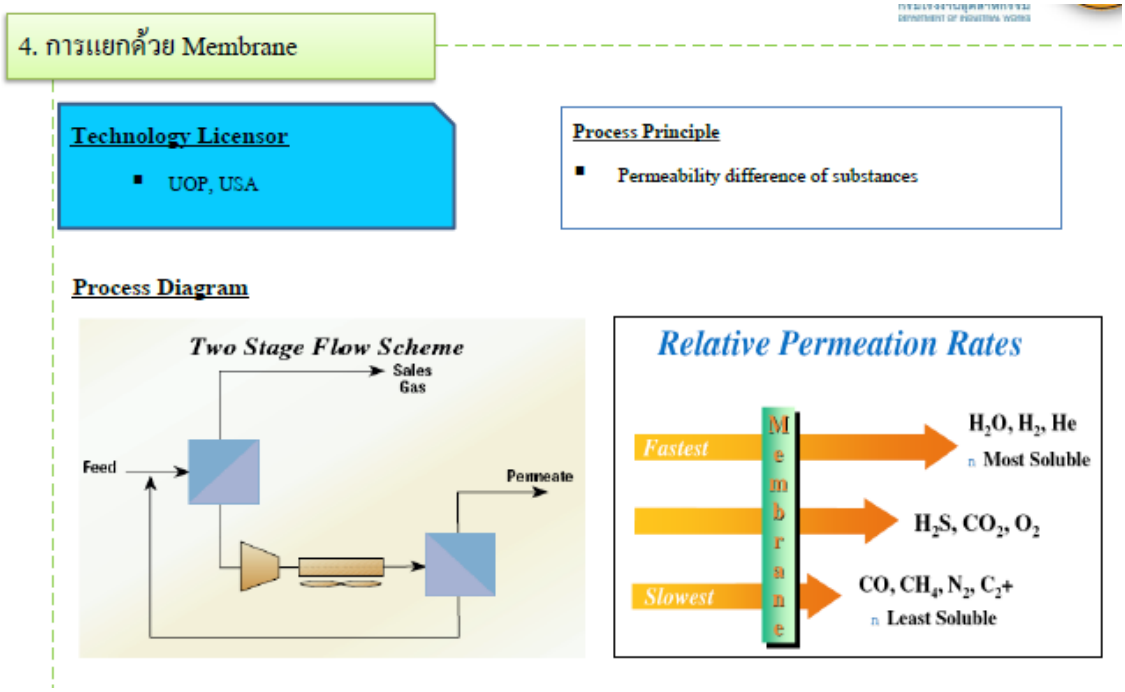
หลังจากดึงก๊าซอื่นออกจากสารดูดซับแล้ว (สิ้นสุดขั้นตอนการฟื้นสภาพ) ก็จะมีอัตราความดันเพื่อเตรียมการเข้าสู่ขั้นตอนการดูดซับอีกครั้งหนึ่ง เวลาต่อหนึ่งรอบของกระบวนการดูดซับจะอยู่ในช่วงเวลา 3-5 นาที



รูปที่ ก-25 การดักจับด้วยสารเคมี

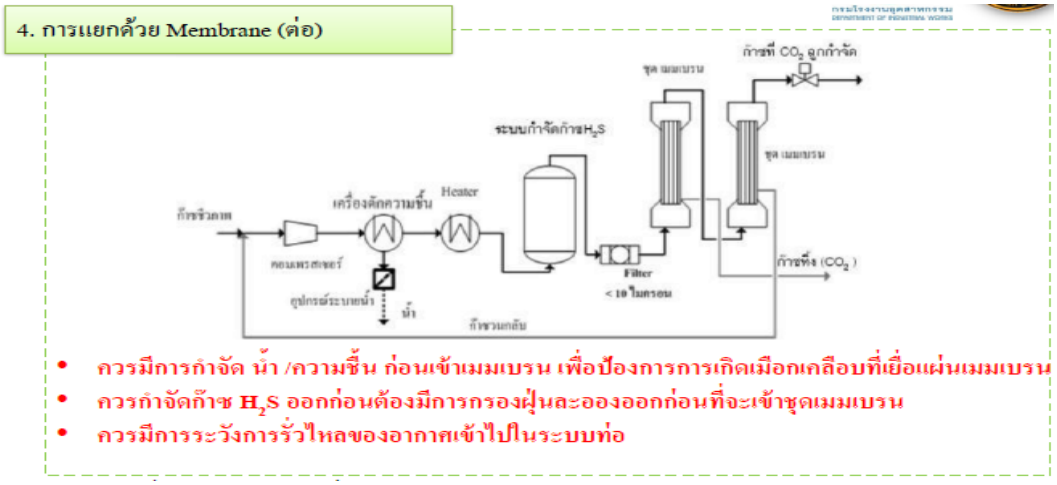


รูปที่ ก-26 การดักจับด้วยสารเคมี (ต่อ)



รูปที่ ก-27 การแยกด้วย Membrane

การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยวิธีเลือกซึมผ่านและแพร่ผ่านเมมเบรน ที่ใช้เยื่อแผ่นทำจาก Dense polyimide membrane ในการแยกสารใช้หลักการความแตกต่างของขนาดโมเลกุล หรือความจำเพาะต่อโมเลกุลของก๊าซแต่ละชนิดในการดึงดูดกัน (Affinity) ทำงานภายใต้ความดันประมาณ 6-10 บาร์เกจ



รูปที่ ก-28 การแยกด้วย Membrane (ต่อ)

ภาคผนวก ข
(ระบบผลิตไฟฟ้า)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชีวภาพ

รูปที่ ข-1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตารางที่ ข-1 รายละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	จัดอันดับแรงดันไฟฟ้า(v)	230v/110v	230/110v	230/110v	230/110v
	อำนาจนิยม(kw)	3kw	3.5kw	5kw	10kw
	ความถี่จัดอันดับ (Hz)	50hz/60hz	50/60hz	50/60hz	50/60hz
เครื่องยนต์	น้ำมันเชื้อเพลิง	20	20	25	30
	Bore*stroke(มม.)	4x105x25	6x110x25	8x110x25	10x120x30
	ราง(ซีซี)	88x64	90x65	90x65	100x70
	ความจุถังน้ำมันเชื้อเพลิง(l)	20	22	25	30
	อัตราส่วนการอัด	8.0:1	8.0:1	8.0:1	8.0:1
	ระบบเริ่มต้น	ทรานซิสเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ทรานซิสเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ทรานซิสเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ทรานซิสเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
	เสียงที่7m(db)	70db	70db	70db	70db
	วิธีการระบายความร้อน	น้ำระบายความร้อน	น้ำระบายความร้อน	น้ำระบายความร้อน	น้ำระบายความร้อน

สวิตช์การถ่ายโอน (Automatic Transfer Switch)

รูปที่ ข-2 สวิตช์การถ่ายโอนอัจฉริยะ

สวิตช์การถ่ายโอน คือ สวิตช์ไฟฟ้าที่สลับโหลดระหว่างสองแหล่ง สวิตช์การโอนบางตัวเป็นแบบแมนนวลในขณะที่ผู้ให้บริการส่งผลต่อการถ่ายโอนโดยการโยนสวิตช์ขณะที่อุปกรณ์อื่น ๆ เป็นแบบอัตโนมัติและเรียกใช้เมื่อรู้สึกว่าแหล่งใดมีแหล่งพลังงานสูญหายหรือได้รับพลังงาน มักมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองไว้เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้ชั่วคราวหากแหล่งจ่ายไฟไม่ทำงาน

การทำงานของสวิตช์ถ่ายโอน เช่นเดียวกับการถ่ายโอนภาระไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองระบบ ATS อาจสั่งให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองสำรองเริ่มทำงานขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับการตรวจสอบจากแหล่งจ่ายไฟหลัก สวิตช์ถ่ายโอนแยกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองจากยูทิลิตี้ไฟฟ้าเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปิดและให้พลังงานชั่วคราว ความสามารถในการควบคุมของสวิตช์การถ่ายโอนอาจใช้ด้วยตนเองเท่านั้นหรือเป็นการรวมกันแบบอัตโนมัติและแบบแมนนวล โหมดเปลี่ยนสวิตช์ (ดูด้านล่าง) ของสวิตช์การถ่ายโอนอาจเป็นเปิดการเปลี่ยน (OT) (แบบปกติ) หรือ Closed Transition (CT))

ตัวอย่างเช่นในบ้านที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองและ ATS เมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้องระบบ ATS จะแจ้งให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองเริ่มทำงาน เมื่อ ATS เห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพร้อมที่จะให้พลังงานไฟฟ้า ATS จะหยุดการเชื่อมต่อกับยูทิลิตี้ไฟฟ้าและเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับแผงวงจรไฟฟ้าหลักของบ้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจัดหาพลังงานให้กับโหลดไฟฟ้าภายในบ้าน แต่ไม่ได้เชื่อมต่อกับสายไฟฟ้า จำเป็นต้องแยกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบจำหน่ายเพื่อป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจาก

การโหลดเกินในการเปิดเครื่องในบ้านและเพื่อความปลอดภัยเนื่องจากพนักงานสาธารณูปโภคคาดว่าเส้นจะตาย

เมื่อสวิตช์ไฟฟ้าส่งกลับมาเป็นเวลาต่ำสุดสวิตช์ถ่ายโอนจะโอนบ้านกลับไปที่กำลังไฟยูทิลิตี้และสั่งให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าปิดหลังจากมีเวลา "เย็นลง" อีกครั้งหนึ่งโดยไม่ต้องโหลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสวิตช์การถ่ายโอนสามารถตั้งค่าเพื่อให้กำลังไฟเฉพาะกับวงจรที่สำคัญหรือแผงโซลาร์เซลล์ทั้งหมดเท่านั้น สวิตช์สำหรับสวิตช์บางตัวช่วยให้สามารถแยกภาระหรือจัดลำดับความสำคัญของวงจรเสริมเช่นอุปกรณ์ทำความร้อนและทำความเย็น สวิตช์ฉุกเฉินที่ซับซ้อนมากขึ้นที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองข้อมูลขนาดใหญ่ช่วยให้โหลดได้นุ่มนวลทำให้สามารถโหลดได้อย่างราบรื่นจากเครื่องใช้ไฟฟ้าไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ ซิงโครนัสและด้านหลัง การติดตั้งดังกล่าวเป็นประโยชน์ในการลดความต้องการโหลดสูงสุดจากอรรถประโยชน์

ประเภท Open transition

สวิตช์การโอนย้ายแบบเปิดจะเรียกว่าสวิตช์การโอนการโอนก่อนทำ สวิตช์การถ่ายโอนแบบแบ่งก่อนทำจะแบ่งการติดต่อกับแหล่งพลังงานหนึ่ง ๆ ก่อนที่จะทำการติดต่อกับอุปกรณ์อื่น ตัวอย่างเช่นป้องกันไม่ให้ นำลูกกลับไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินกลับเข้ามาในสายยูทิลิตี้ ตัวอย่างหนึ่งคือการเปลี่ยนการโอนย้ายโดยอัตโนมัติแบบเปิด (ATS) ในช่วงที่สองของการถ่ายโอนอำนาจการไหลของกระแสไฟฟ้าถูกขัดจังหวะ อีกตัวอย่างหนึ่งคือสวิตช์สามตำแหน่งด้วยตนเองหรือเบรกเกอร์ที่มีกำลังไฟยูทิลิตี้ในด้านหนึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อื่น ๆ และ "ปิด" อยู่ตรงกลางซึ่งผู้ใช้ต้องสลับตำแหน่ง "ปิด" ก่อนที่จะทำ การเชื่อมต่อครั้งต่อไป

ประเภท Closed transition

สวิตช์การถ่ายโอนการถ่ายโอนปิด (CTTS) เรียกว่าสวิตช์ถ่ายโอนข้อมูลก่อนหักระบบฉุกเฉินโดยทั่วไปจะใช้การเปลี่ยนแบบเปิดดังนั้นจึงมีการหยุดชะงักชั่วคราวของพลังงานในการโหลดเมื่อโอนจากแหล่งที่มาหนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง (โปรดจำไว้ว่าการโอนอาจเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุอื่นนอกเหนือจากการสูญเสียพลังงานทั้งหมด) . ในกรณีส่วนใหญ่การหยุดทำงานนี้จะไม่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าน้อยกว่า 1/6 วินาที มีโหลดบาง แต่ที่ได้รับผลกระทบจากการสูญเสียแม้แต่น้อยของพลังงาน นอกจากนี้ยังมีเงื่อนไขการปฏิบัติงานซึ่งอาจเป็นที่พึงปรารถนาในการถ่ายโอนโหลดที่มีการหยุดชะงักของพลังงานเป็นศูนย์เมื่อเงื่อนไขอนุญาต สำหรับแอพพลิเคชันเหล่านี้สามารถระบุสวิตช์การถ่ายโอนข้อมูลแบบปิดได้ สวิตช์จะทำงานในโหมด make-before-break ทำให้ทั้งสองแหล่งสามารถยอมรับและซิงโครไนซ์ได้ พารามิเตอร์ทั่วไปที่กำหนดการซิงโครไนซ์คือแรงดันไฟฟ้าแตกต่างน้อยกว่า 5% ความแตกต่างของความถี่น้อยกว่า 0.2 Hz และมุมเฟสสูงสุดระหว่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้า 5 องศา ซึ่งหมายความว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งจัดหาแหล่งใดแหล่งหนึ่งโดยทั่วไปต้องได้รับการควบคุมโดยผู้ว่าราชการจังหวัดไม่ตรงกัน โดยทั่วไปจำเป็นต้องใช้เวลาปิดหรือทับซ้อนกันไม่น้อยกว่า 100 มิลลิวินาที ถ้าแหล่งใดไม่เป็น

ปัจจุบันหรือไม่เป็นที่ยอมรับ (เช่นเมื่อไฟฟ้าดับปกติ) สวิตช์ต้องทำงานในโหมด break-before-make (การดำเนินการเปลี่ยนแบบมาตรฐาน) เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการป้อนกลับ การโอนย้ายที่ปิดทำให้การตรวจสอบรายเดือนแบบใช้รหัสไม่เป็นที่น่ารังเกียจเพราะลดการหยุดชะงักของการโหลดที่สำคัญซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการโอนย้ายแบบเปิดแบบดั้งเดิม ด้วยการถ่ายโอนการถ่ายโอนข้อมูลแบบปิดชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานที่จะเชื่อมต่อกันในเวลาเดียวกันควบคู่ไปกับแหล่งอรรถประโยชน์ นี้ต้องได้รับการอนุมัติจากบริษัท สาธารณูปโภคท้องถิ่น

การใช้งานการสลับโหลดทั่วไปซึ่งการถ่ายโอนข้อมูลช่วงปิดหมายถึงการประมวลผลข้อมูลและการโหลดแบบอิเล็กทรอนิกส์การโหลดมอเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้าระบบลดน้ำหนักบรรทุกหรือการหยุดชะงักของโหลดที่ใดก็ได้ในระยะเวลาที่สั้นที่สุดถือว่าไม่เหมาะสม CTTS ไม่ใช่ตัวสำรองสำหรับ UPS (แหล่งจ่ายไฟสำรอง) UPS มีพลังงานที่จัดเก็บอยู่ภายในที่ให้พลังงานเป็นเวลาที่กำหนดไว้ในกรณีที่เกิดไฟฟ้าดับ CTTS โดยตัวเองก็มั่นใจว่าจะไม่มีการสูญเสียพลังงานชั่วขณะเมื่อโหลดจะถูกโอน จากแหล่งพลังงานหนึ่งถ่ายทอดสดไปยังอีก

โหลดนุ่มนวล

สวิตช์ถ่ายโอนแบบอ่อน (SLTS) ใช้ CTTS และมักใช้ในการซิงโครไนซ์และใช้งานในที่จอดรถควบคู่ไปกับการใช้พลังงานไฟฟ้าสาธารณูปโภคและเพื่อถ่ายโอนโหลดระหว่างสองแหล่งในขณะที่ลดแรงดันไฟฟ้าหรือความถี่ต่ำสุด

สวิตช์ถ่ายโอนข้อมูลแบบสแตติก (STS)

สวิตช์ถ่ายโอนข้อมูลแบบคงที่ใช้เซมิคอนดักเตอร์ที่ใช้พลังงานเช่นตัวควบคุมแบบ ซิลิคอน (SCRs) เพื่อถ่ายโอนโหลดระหว่างสองแหล่ง เนื่องจากไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ด้วยกลไกการถ่ายโอนจึงสามารถทำได้อย่างรวดเร็วอาจอยู่ในช่วงไตรมาสของวงจรความถี่ไฟฟ้า สวิตช์ถ่ายโอนแบบสแตติกสามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟที่เชื่อถือได้และเป็นอิสระและมีความจำเป็นที่จะต้องปกป้องภาระจากรอบเวลาของกำลังไฟไม่กี่ครั้งหรือจากไฟกระชากหรือซ็อกเก็ตในแหล่งจ่ายไฟที่สำคัญ

การใช้งานภายในบ้าน

บ้านที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองอาจใช้สวิตช์การถ่ายโอนสำหรับวงจรสองสามหรือทั้งที่บ้าน มีรูปแบบต่าง ๆ ให้เลือกใช้ทั้งแบบ manual และ automatic transfer มักใช้ระบบเปลี่ยนถ่ายโอนขนาดเล็กใช้ เบรกเกอร์วงจร กับการเชื่อมต่อการปฏิบัติการภายนอกเป็นกลไกการสลับ การเชื่อมโยงทำงานสองเบรกเกอร์วงจรควบคู่ปิดหนึ่งในขณะที่เปิดอื่น ๆ ผู้ผลิตสวิตช์ถ่ายโอนสามารถให้คำแนะนำในการติดตั้งเพื่อเลือกขนาดของสวิตช์และระบุขั้นตอนการติดตั้งที่แนะนำรหัสไฟฟ้าต้องใช้สวิตช์ถ่ายโอนเช่นเดียวกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ เพื่อให้ได้รับการรับรองความปลอดภัย อย่างไรก็ตามมีปัญหาเกี่ยวกับเบรคเกอร์ปลอมแปลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ขายผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาคผนวก ค
(ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์)

ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer VSPP)

VSPP ย่อมาจาก Very Small Power Producer หรือ ผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก ความหมาย VSPP หมายถึง ผู้ผลิตไฟฟ้าทั้งภาคเอกชน รัฐบาล รัฐวิสาหกิจ และประชาชนทั่วไปที่มีการจำหน่ายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย โดยมีปริมาณพลังไฟฟ้าขายเข้าระบบไม่เกิน 1 MW เมื่อปี พ.ศ. 2543 คณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นควรให้มีการออกระเบียบเพิ่มเติมเป็นกรณีพิเศษ สาหรับการรับซื้อไฟฟ้าจากโครงการ SPP ขนาด เล็ก เพื่อส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้า โดยใช้พลังงานนอกรูปแบบ กากหรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ก๊าซชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นเชื้อเพลิง และปี 2545 การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้ออกระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก โดยวัตถุประสงค์ของการรับซื้อไฟฟ้าจาก VSPP ก็เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้ทรัพยากรภายในประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ\ลดการ พึ่งพาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายการนาเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศและลดผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อม และช่วยแบ่งเบาภาระด้านการลงทุนของรัฐในระบบการผลิตและจาหน่ายไฟฟ้า

มาตรการจูงใจด้านราคาแก่ผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

มติคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน (กบง.) ซึ่งมี ดร. ปิยสวัสดิ์ อัมระนันท์ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงานเป็นประธานได้อนุมัติการประกาศการขยายการรับ ซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) และเห็นชอบมาตรการจูงใจทางด้านราคา โดยภาครัฐจะให้การสนับสนุน VSPP รายใหม่ เป็นเวลา 7 ปี นับตั้งแต่วันเริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้าตามสัญญา และผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน จะได้ส่วนเพิ่ม (Adder) ซึ่งหาก VSPP ที่ใช้พลังงานชีวมวล และขายไฟฟ้าเข้าระบบไฟฟ้าจำหน่ายราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่ขายได้จากพลังงานชี วมวลจะเท่ากับ ค่าไฟฟ้าฐาน + ส่วนเพิ่ม 0.30 บาทซึ่งค่าไฟฟ้าฐานปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 2.50 บาทต่อหน่วย ดังนั้น ราคาค่าไฟฟ้าที่ขายได้จะเท่ากับ 2.80 บาทต่อหน่ว**ย**

ผลที่ได้จากมาตรการจูงใจด้านราคา

จากมาตรการ Adder คาดว่าจะสามารถกระตุ้นให้เกิดการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้า VSPP ขนาดไม่เกิน 10 MW ในระดับหนึ่งแม้ว่าการสนับสนุน Adder จะไม่มากดังที่หลายฝ่ายต้องการ แต่หากมีนักลงทุนใดที่ประสงค์จะลงทุนสร้าง VSPP และคำนวณหาผลตอบแทนโดยรวมการสนับสนุน Adder เข้าไปด้วย และหากผลตอบแทนเป็นที่น่าพอใจ ก็จะเกิดการลงทุนโรงไฟฟ้า VSPP ขึ้น ดังนั้น หากนโยบายของมาตรการจูงใจทางด้านราคาสัมฤทธิ์ผล ก็จะทำให้เกิด Supply Chain Management ของ VSPP คือ กระตุ้นการเพาะปลูกพืชต่าง ๆ และการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบของ

โรงไฟฟ้า เช่น แกลบ, อ้อย, ปาล์ม, เศษไม้ต่าง ๆ, ข้าวโพด, มันสาปะหลัง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อชาวนา และ ชาวสวนในการเพิ่มปริมาณการเพาะปลูกพืชต่าง ๆ เพิ่มขึ้น

การบริหาร จัดการขยะต่าง ๆ ที่เป็นปัญหาของชุมชนต่าง ๆ โดยเฉพาะในกทม. ที่มีขยะเกิดขึ้นแต่ละวันอย่างมากมาย ซึ่งมีหลายฝ่ายรวมถึงนักลงทุนที่ต้องการจะสร้างโรงไฟฟ้าที่จะใช้ขยะเป็นวัตถุดิบ ดังนั้น โรงไฟฟ้าก็จะต้องการขยะในประเภทที่เหมาะกับโรงไฟฟ้าของตน ซึ่งก็จะกระตุ้นให้เกิดการบริหารจัดการขยะเป็นไปตามโรงไฟฟ้า จะเกิดการขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งต่าง ๆ ไปยังโรงไฟฟ้า ซึ่งต้องอาศัย รถบรรทุกขน หรืออาจจะเป็นเรือ หรือรถไฟ แล้วแต่ความเหมาะสมของแต่ละบริเวณ และจะเกิดบริษัทนายหน้าในการที่จะบริหารจัดการวัตถุดิบที่โรงไฟฟ้าต้องการ เพิ่มงานการออกแบบโรงไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการรับเหมาก่อสร้างตาม EPC (Energy Performance Contract) และมีการนำเข้าเครื่องจักรและเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับโรงไฟฟ้าในแต่ละประเภท เชื้อเพลิง รวมถึงเกิดการจ้างงานทาให้คนไทยมีงานทาเพิ่มขึ้นด้วยเกิดธุรกรรมทางการเงิน รูปแบบต่าง ๆ เช่น การสนับสนุนด้านสินเชื่อทั้งในรูปแบบระยะสั้นและระยะยาว และในอนาคตสามารถนาโรงไฟฟ้า VSPP เข้าไปจดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์ MAI หรือ SET ก็ได้ ทำให้เพิ่มมูลค่าของทั้งสองตลาด อย่างไรก็ตามมาตรการนี้อาจจะส่งผลในทางลบกับชุมชนหรือสังคมบ้าง ซึ่งหากการบริหารจัดการไม่ดีหรือไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ก็จะทำให้เกิดปัญหาได้ เช่น หากไม่จำกัดโซนหรือบริเวณของการตั้งโรงไฟฟ้า VSPP ก็ จะทำให้เกิดการแย่งซื้อวัตถุดิบที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงทำให้วัตถุดิบใน บริเวณที่มีความต้องการมากเกิดการขาดแคลน หรือราคาเพิ่มขึ้นผิดปกติหากชุมชนไม่เข้าใจกัน ก็จะเกิดความไม่พอใจในการที่จะไม่ให้มีการสร้างโรงไฟฟ้าในชุมชนนั้น หรืออาจเกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมาซึ่งคาดไม่ถึงมาตรการจูงใจด้านราคาแก่ผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน คาดว่าจะผ่านการพิจารณาจากคณะรัฐมนตรีในเดือนธันวาคม 49 นี้ และจะประกาศใช้ต้นปี 2550 โดยการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะประกาศเป็นระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP)

ระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (สำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ Cogeneration)

ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก หมายถึง ผู้ผลิตไฟฟ้า ทั้งภาคเอกชน รัฐบาล รัฐวิสาหกิจ และประชาชนทั่วไปที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของตนเอง มีลักษณะกระบวนการผลิตไฟฟ้าตามข้อ ข. ที่จำหน่ายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย โดยมีปริมาณพลังไฟฟ้าขายเข้าระบบไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ “การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย” หมายถึง การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) “ระเบียบว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย” หมายถึง ระเบียบว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย สำหรับปริมาณพลังไฟฟ้าไม่เกิน 10 เมกะวัตต์

ก. วัตถุประสงค์ของการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

1. เพื่อส่งเสริมให้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากเข้ามามีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้า

2. เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้ทรัพยากรภายในประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการพึ่งพาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3. เพื่อส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ มีการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

4. เพื่อเป็นการกระจายโอกาสไปยังพื้นที่ห่างไกลให้มีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้า

5. เพื่อช่วยแบ่งเบาภาระทางด้านการลงทุนของรัฐในระบบการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้า

ข. ลักษณะกระบวนการผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่ผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมกัน (Cogeneration หรือ Combined Heat and Power: CHP) โดยใช้เชื้อเพลิงที่เป็นพลังงานสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่งมีข้อกำหนดในกระบวนการผลิตดังนี้

1. เป็นการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง โดยการนำพลังงานความร้อนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าไปใช้ในกระบวนการอุณหภาพ (Thermal Processes) ตัวอย่างเช่น การผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การเกษตร และการทำความเย็นในอาคารสำนักงาน โรงแรม โรงงานอุตสาหกรรม หรือโรงพยาบาล ซึ่งรวมเรียกว่า Topping Cycle หรือในทางตรงข้ามโดยการนำพลังงานความร้อนที่เหลือจากกระบวนการอุณหภาพไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าซึ่งรวมเรียกว่า Bottoming Cycle

2. ผู้ผลิตไฟฟ้าจะต้องผลิตไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีสัดส่วนการประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (Primary Energy Saving) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 ในแต่ละปี โดยมีวิธีการคำนวณตามสิ่งแนบที่ 1

ค. มาตรฐานระบบไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ที่มีความประสงค์จะผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะต้องปฏิบัติตามมาตรฐานในด้านความปลอดภัยและมาตรฐานในการเชื่อมโยงเข้ากับระบบตามระเบียบว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย

ง. ขั้นตอนและหลักการพิจารณารับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

1. ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่ประสงค์จะขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายต้องยื่นแบบคำขอจำหน่ายไฟฟ้าและการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ณ ที่ทำการสำนักงานเขตของการไฟฟ้านครหลวงหรือที่ทำการสำนักงานจังหวัดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะเชื่อมโยงระบบและซื้อขายไฟฟ้า

2. การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะพิจารณารับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ตามรายละเอียดที่กำหนดในแบบคำขอจำหน่ายไฟฟ้าและการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า

3. กรณีผู้ผลิตไฟฟ้าที่มีปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขายตามสัญญาเกินกว่า 6 เมกะวัตต์ ให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายพิจารณารับซื้อเป็นกรณีๆ ไป โดยส่งเอกสารให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พิจารณาด้วย ทั้งนี้ หากไม่พิจารณารับซื้อจะต้องมีรายงานผลการตรวจสอบ และหากมีข้อขัดแย้งให้ผู้ยื่นคำร้องขอขายไฟฟ้ายื่นอุทธรณ์ไปยังสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน

4. การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะแจ้งผลการพิจารณารับซื้อไฟฟ้าไปยังผู้ยื่นข้อเสนอเป็นลายลักษณ์อักษร ภายใน 45 วัน นับจากวันที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายได้รับข้อมูลประกอบการพิจารณาครบถ้วน ทั้งนี้ การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะแจ้งรายละเอียดค่าใช้จ่ายให้ทราบภายใน 15 วัน นับจากวันแจ้งผลการพิจารณารับซื้อไฟฟ้า

5. ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก จะต้องทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายภายใน 60 วัน นับจากวันที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายแจ้งผลการพิจารณารับซื้อไฟฟ้า หากพ้นกำหนดนี้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากไม่มาทำสัญญาการซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ให้ถือว่าคำขอจำหน่ายไฟฟ้าและการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากรายนั้นเป็นอันยกเลิก

6. ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่ลงนามในสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแล้ว จะจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบได้เมื่อการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายได้ตรวจสอบการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ตลอดจนอุปกรณ์ที่ติดตั้ง ว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดในแบบคำขอจำหน่ายไฟฟ้าและการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า โดยการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จภายใน 30 วัน นับจากวันที่ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากได้ติดตั้งอุปกรณ์ไว้อย่างถูกต้องครบถ้วนแล้ว และได้แจ้งความประสงค์ให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายเข้าตรวจสอบระบบไฟฟ้าก่อนจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบ ทั้งนี้ ยกเว้นกรณีที่ผู้ผลิตไฟฟ้าเป็นผู้ใช้ไฟรายใหม่ ให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายดำเนินการตามระเบียบปฏิบัติของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย

7. ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องได้รับใบอนุญาตตามที่กฎหมายกำหนด โดยนำมาแสดงกับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายก่อนการเริ่มจำหน่ายไฟฟ้า

จ. เงื่อนไขการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

เงื่อนไขการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากมีดังนี้

1. การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายเป็นผู้รับซื้อไฟฟ้า

2. การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าที่มีลักษณะกระบวนการผลิตไฟฟ้าตามข้อ ข.

3. ปริมาณพลังไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากแต่ละรายที่จ่ายเข้าระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะต้องไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ ณ จุดเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า โดยการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะคำนึงถึงความสามารถและความมั่นคงของระบบไฟฟ้าที่จะรับได้ ตามระเบียบว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย

4. เพื่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายมีสิทธิ์ตรวจสอบ และ/หรือขอให้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ตรวจสอบ แก้ไข ปรับปรุงอุปกรณ์การจ่ายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายเมื่อใดก็ได้ตามความจำเป็น

ฉ. จุดรับซื้อไฟฟ้าและจุดเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า

1. จุดรับซื้อไฟฟ้า หมายถึง จุดที่ติดตั้งมาตรวัดไฟฟ้าที่ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก จำหน่ายไฟฟ้า

2. จุดเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า หมายถึง จุดที่ระบบไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ซึ่งการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะเป็นผู้กำหนดและอาจจะเป็นจุดเดียวกับจุดรับซื้อไฟฟ้าก็ได้

การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ณ จุดรับซื้อไฟฟ้า

ช. ค่าใช้จ่ายของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก จะต้องรับภาระค่าใช้จ่ายดังต่อไปนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ได้แก่ ค่าระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากจุดเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าถึงโรงไฟฟ้าของผู้ผลิตขนาดเล็กมาก ค่ามาตรวัดไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับระบบป้องกันไฟฟ้า และค่าทดสอบอุปกรณ์ป้องกัน ยกเว้นกรณีที่อุปกรณ์ของผู้ผลิตไฟฟ้ามีระบบป้องกันรวมอยู่แล้ว ทั้งนี้ จะไม่คิดค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบแบบเพื่อการขนานเครื่องสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่เชื่อมโยงกับระบบแรงดันต่ำ ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก จะต้องชำระค่าใช้จ่ายดังกล่าวให้เสร็จสิ้นก่อนที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะเริ่มดำเนินการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า

2. ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบอุปกรณ์ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบอุปกรณ์การจ่ายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า ตามข้อ จ. 4 (ไม่ว่าจะเป็นการตรวจสอบตามระเบียบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายหรือการตรวจสอบตามคำขอของผู้ผลิตขนาดเล็กมาก) และค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการที่เหมาะสมที่เกิดเพิ่มขึ้นจากปกติของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ทั้งนี้ เฉพาะในกรณีที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายตรวจสอบแล้วพบว่าเป็นปัญหาที่เกิดจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากเท่านั้น ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องชำระค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบอุปกรณ์ให้กับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายภายใน 30 วัน นับจากวันที่ได้รับใบแจ้งหนี้จากการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย

ซ. หลักการกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าในการซื้อขายไฟฟ้ากับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย รับซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก เป็นดังนี้

1. การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะรับซื้อพลังงานไฟฟ้า เท่ากับค่าไฟฟ้าตามโครงสร้างค่าไฟฟ้าขายส่ง ณ ระดับแรงดันที่ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากทำการเชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย รวมกับค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติขายส่งเฉลี่ย (F_t ขายส่งเฉลี่ย)

2. ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่มีปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขายตามสัญญาเกิน 1 เมกะวัตต์ ณ จุดรับซื้อไฟฟ้า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่นำมาคำนวณในข้อ 1 จะถูกหักออกร้อยละ 2 ของปริมาณพลังงาน

ไฟฟ้าที่ขายให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย เพื่อเป็นค่าดำเนินการโครงการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ทั้งนี้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จะแจ้งข้อมูลค่าไฟฟ้าขายส่งเฉลี่ยทุกระดับแรงดันของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย และค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติขายส่งเฉลี่ย (F_tขายส่งเฉลี่ย) ให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายทราบ ภายใน 5 วันทำการ นับตั้งแต่วางใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าประจำเดือนกับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย และการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะแจ้งการรับซื้อไฟฟ้า โดยแจ้งค่าพลังงานไฟฟ้าขายปลีกเฉลี่ย ราคาขายส่ง หรือราคาขายส่งเฉลี่ย รวมทั้งหน่วยการซื้อและการขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ในแต่ละเดือนให้กับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากเพื่อออกใบแจ้งหนี้ และใบเสร็จรับเงินหรือใบเสร็จรับเงิน/ใบกำกับภาษี ให้กับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายต่อไป

3. ในกรณีที่ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากมีความประสงค์จะขอใช้ไฟฟ้าในลักษณะไฟฟ้าสำรองจากการไฟฟ้า วิธีปฏิบัติและอัตราค่าไฟฟ้าสำรองจะเป็นไปตามประกาศเรื่อง ไฟฟ้าสำรองของการไฟฟ้า

ฌ. การไม่สามารถปฏิบัติตามข้อกำหนดของกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมกัน

ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่ไม่สามารถปฏิบัติตามข้อกำหนดเรื่องประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตไฟฟ้าตามที่ระบุในข้อ ข. จะต้องเสียค่าปรับตามวิธีการคำนวณในสิ่งแนบที่ 1 ของระเบียบการรับซื้อไฟฟ้า

ญ. เงื่อนไขการชำระเงินค่าซื้อไฟฟ้า

1. ในกรณีที่ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย จะจดบันทึกหน่วยการใช้ไฟฟ้า พร้อมกับจัดทำใบแจ้งหนี้ โดยให้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ชำระเงินค่าซื้อไฟฟ้าในรอบเดือนที่ผ่านมาให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ภายใน 15 วัน นับจากวันที่ได้รับใบแจ้งหนี้จากการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ทั้งนี้ กรณีผู้ใช้ไฟรายใหญ่ให้เป็นไปตามระเบียบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย

2. ในกรณีที่ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก มีการขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย จะจดบันทึกหน่วยการขายไฟฟ้า (Credit) และคำนวณค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน และแจ้งผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก เพื่อจัดทำใบแจ้งหนี้ โดยการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายสามารถแจ้งให้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากขอรับเงินจากการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายเป็นประจำทุกเดือน หรือเมื่อจำนวนเงินค่าไฟฟ้าสะสมถึง 3,000 บาท ทั้งนี้ การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะต้องชำระเงินค่าไฟฟ้าให้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากภายใน 30 วัน นับจากวันที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายได้รับใบแจ้งขอรับเงิน

ฎ. ความเสียหายของระบบไฟฟ้า

ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากและการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันความเสียหายของระบบไฟฟ้า ตามระเบียบว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย

หากมีความเสียหายเกิดขึ้นอันเนื่องจากความบกพร่องทางด้านอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าหรือสาเหตุอื่น ๆ จากฝ่ายใด ฝ่ายนั้นจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อความเสียหายดังกล่าว

ฏ. ปัญหาจากการปฏิบัติตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าฯ และสัญญาการซื้อขายไฟฟ้า

1. ปัญหาจากการปฏิบัติตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าฯ

ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่ประสบปัญหาจากการปฏิบัติตามระเบียบฯ นี้ หรือผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่มีความประสงค์จะยื่นคำร้องเรียนหรือยื่นคำอุทธรณ์ใด ๆ เกี่ยวกับการปฏิบัติตามระเบียบฯ นี้ ให้ยื่นได้ต่อคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ โดยให้ส่งหนังสือร้องเรียนไปยังประธานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน เลขที่ 121/1-2 ถนนเพชรบุรี เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 และให้ถือว่าการวินิจฉัยปัญหาโดยคณะกรรมการฯ ถือเป็นที่สุด

2. ปัญหาจากการปฏิบัติตามสัญญาการซื้อขายไฟฟ้า

ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่ประสบปัญหาจากการปฏิบัติตามสัญญาการซื้อขายไฟฟ้า หรือผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่มีความประสงค์จะยื่นคำร้องเรียนหรือยื่นคำอุทธรณ์ใด ๆ เกี่ยวกับการปฏิบัติตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้า ให้ยื่นได้ต่ออนุญาโตตุลาการ หากอนุญาโตตุลาการไม่สามารถวินิจฉัยหาข้อยุติได้ ให้ศาลไทยเป็นผู้วินิจฉัยชี้ขาด

ฐ. การแก้ไขระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าฯ

การแก้ไขระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าฯ ทุกครั้งจะต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ

สัดส่วนการประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (Primary Energy Saving : PES)

วิธีการคำนวณสัดส่วนการประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

$$PES = (1 - \frac{1}{\frac{COGENHeatEff}{refHeatEff} + \frac{COGENElectricityEff}{refElectricityEff}}) * 100\%$$

โดยที่

COGEN Heat Eff. = ประสิทธิภาพการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์จากระบบ Cogeneration
= สัดส่วนของปริมาณพลังงานความร้อน (ไอน้ำ) ที่นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ (รายปี)ต่อปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด (โดยคิดจากค่าความร้อนต่ำ)

COGEN Elect. Eff. = ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบ Cogeneration
= สัดส่วนของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (รายปี) ต่อปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด (โดยคิดจากค่าความร้อนต่ำ)

Ref. Heat Eff. = ประสิทธิภาพการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ อ้างอิงของระบบผลิตความร้อนแต่เพียงอย่างเดียว

Ref. Elect. Eff. = ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า อ้างอิงจากระบบที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าแต่เพียงอย่างเดียว

ตารางที่ ค-1 กำหนดค่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์อ้างอิงของ VSPP ตามชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไฟฟ้า

ชนิดเชื้อเพลิง	Ref. Elec. Eff.	Ref. Heat. Eff.
ก๊าซธรรมชาติ	45 %	85 %
ถ่านหิน	40 %	80 %
น้ำมัน	40 %	80 %

ที่มา : https://www.pea.co.th/Portals/0/Document/RegCogen.pdf

ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน

ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน

ชื่อ ชื่อสกุล	นางสาวเสาวนีย์ อุดมสิน
วันเดือนปีเกิด	23 กันยายน 2537
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	290 หมู่ 2 ต.ศาลาลำดวน อ.เมืองสระแก้ว จ.สระแก้ว 27000
หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ	098-269-4344

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2556	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนสระแก้ว
พ.ศ. 2560	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน

ชื่อ ชื่อสกุล	นางสาววีรปภา เหรียญอารีย์
วันเดือนปีเกิด	18 พฤษภาคม 2538
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	66 หมู่ 8 ตำบลโคกสูง อำเภอโคกสูง จังหวัดสระแก้ว 27120
หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ	086-151-5721

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2556	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนอรัญประเทศ
พ.ศ. 2560	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ