

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
จากบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศตัดแปลงและโรงไฟฟ้า

นางสาววรรณิษา วงศ์วัฒนันท์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

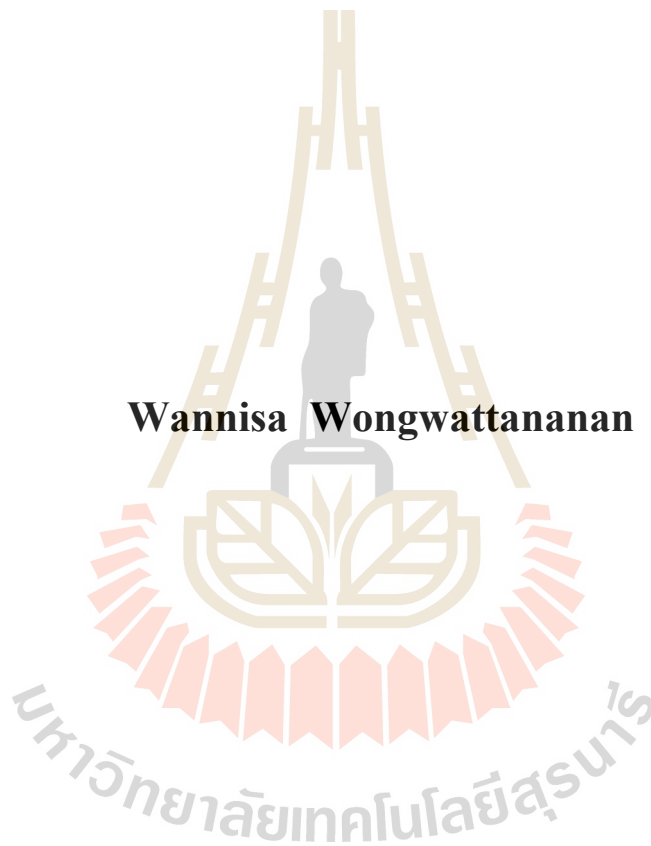
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงานและโลจิสติกส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2561

**ASSESSMENT OF GREENHOUSE GASES EMISSION
OF BIOGAS PRODUCTION FROM MODIFIED
COVER LAGOON AND POWER PLANTS**

Wannisa Wongwattananan



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Engineering in Energy and Logistics**

Management Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2018

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
จากบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลงและโรงไฟฟ้า

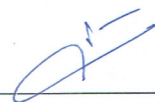
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



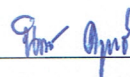
(อ. ดร.อภิชน วัชรณทรวงศ์)

ประธานกรรมการ



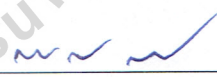
(ผศ. ดร.วรรณนัช บุ่งสุต)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



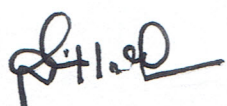
(ผศ. ดร.นิรันดร์ คงฤทธิ์)

กรรมการ



(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วรรณิษา วงศ์พัฒนานันท์ : การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิต
ก๊าซชีวภาพจากบ่อบีดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลงและโรงไฟฟ้า (ASSESSMENT OF
GREENHOUSE GASES EMISSION OF BIOGAS PRODUCTION FROM MODIFIED
COVER LAGOON AND POWER PLANTS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร.วรรณวนัช ปุ่งสุค, 119 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจาก
กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบ่อบีดแบบไม่ใช้อากาศ และกระบวนการผลิตไฟฟ้า
จากวัตถุดิบอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพตั้งแต่รับ
น้ำเสียเข้ามาในระบบ ขั้นตอนการแยกเปลือกมันออกจากน้ำเสีย ขั้นตอนการหมักกรด ขั้นตอน
การสร้างก๊าซมีเทน จนถึงขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย ส่วนของกระบวนการผลิตไฟฟ้า
ศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปจนถึงขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า

จากผลการประเมินพบว่า กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
 $0.6849 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$ ขั้นตอนน้ำออกจากระบบปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ
 $0.6354 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$ คิดเป็น 98.76 เปอร์เซ็นต์ของกระบวนการ กระบวนการผลิตไฟฟ้า ปลดปล่อย
ก๊าซเรือนกระจก $0.9665 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kWh}$ โดยขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
มากที่สุดเท่ากับ $0.6583 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kWh}$ คิดเป็น 68.11 เปอร์เซ็นต์ของกระบวนการ

WANNISA WONGWATTANANAN : ASSESSMENT OF GREENHOUSE
GASES EMISSION OF BIOGAS PRODUCTION FROM MODIFIED
COVER LAGOON AND POWER PLANTS. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. WANWANUT BOONGSOOD, Ph.D. 119 PP.

GREENHOUSE GASES EMISSION/BIOGAS/POWER PLANTS

The purpose of this research was to investigate the amount of greenhouse gases emission generated from Modified Cover Lagoon and the electricity generation process. Inlet waste water was from tapioca starch industry and data were collected from Industrial processes. The scope of assessment was consisted of biogas production processes and electricity generation processes. The biogas production processes were including wastewater inlet process, wastewater/sludge separation process, hydrolysis process, methane generation process (Methanogenesis) and outlet wastewater treatment process. The electricity generation processes were hydrogen sulfide removal process and generator process.

The results showed that the total greenhouse gas emission $0.6849 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$ was emitted from the biogas production processes. The process of outlet wastewater treatment process was taken 98.76% or $0.6354 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$. For electricity generation processes, total greenhouse gas emissions were released $0.9665 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kWh}$. The process of generator was the highest greenhouse gas emissions equal to $0.6583 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kWh}$ or 68.11% of the processes.

School of Mechanical Engineering

Academic year 2018

Student's Signature

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรรณนัช บุ่งสุต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำ แนวทางในการทำงานวิจัยตลอดระยะเวลาของการทำงานวิจัย รวมถึงช่วยตรวจสอบความถูกต้องของรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้เกิดความสมบูรณ์ถูกต้องครบถ้วน

อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ คณะกรรมการสอบที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อนำไปปรับใช้เกี่ยวกับงานวิจัยในด้านวิชาการและด้านการลงปฏิบัติจริงเพื่อให้ข้อมูลที่มีความชัดเจนเพิ่มมากขึ้น

ขอขอบคุณ คุณสุดาวรรณ หวังศุภกิจโกศล กรรมการผู้จัดการ บริษัท เสิ่งสาพัฒนาพลังงาน จำกัด ที่ให้ความสนับสนุนในด้านการเรียน ศึกษาหาความรู้ในหลักสูตรวิศวกรรม การจัดการพลังงานและโลจิสติกส์นี้

ขอขอบคุณ พี่ ๆ และเพื่อนร่วมงานของบริษัท เสิ่งสาพัฒนาพลังงาน จำกัด ที่คอยสนับสนุนข้อมูลต่าง ๆ ในแต่ละขั้นตอนการผลิตระหว่างการจัดทำรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ผู้สอนทางวิชาการประจำหลักสูตรวิศวกรรม การจัดการพลังงานและโลจิสติกส์ทุกท่าน ที่เป็นผู้ถ่ายทอดความรู้จนสามารถนำไปปรับใช้กับงานประจำที่ปฏิบัติงาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มมากขึ้น และขอบคุณครอบครัว บิดา มารดาที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนการเรียนในครั้งนี้ ทำให้ผู้วิจัยเกิดความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

วรรณิษา วงศ์วัฒนานันท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 แผนการดำเนินการวิจัย.....	5
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1.1 ชนิดของก๊าซเรือนกระจก.....	6
2.1.2 ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน.....	6
2.1.3 หน่วยการแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยและดูดกลับ ขององค์กร.....	7
2.2 วิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์.....	7
2.3 การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition).....	8
2.4 การกำหนดเป้าหมายขอบเขต (Scope Definition).....	8
2.5 การรวบรวมข้อมูล.....	8
2.5.1 ข้อมูลปฐมภูมิ.....	8
2.5.2 ข้อมูลทุติยภูมิ.....	9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6	การปันส่วน (Allocation).....	9
2.6.1	การปันส่วนโดยใช้คุณสมบัติทางกายภาพ.....	9
2.6.2	การปันส่วนโดยใช้มูลค่าของผลิตภัณฑ์.....	9
2.7	การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	10
2.8	กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	11
2.8.1	กระบวนการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion).....	12
2.8.2	แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.8.2.1	แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid Forming Bacteria).....	15
2.8.2.2	แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methane Producing Bacteria).....	16
2.8.3	สภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน.....	18
2.9	หลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย (Modified Cover Lagoon).....	23
2.10	กระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	24
2.10.1	ขั้นตอนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	26
2.10.2	ขั้นตอนการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	27
2.10.3	หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	28
2.10.4	ระบบหล่อเย็นเครื่องยนต์ (Cooling Systems).....	29
2.10.5	ระบบน้ำหล่อลื่นของเครื่องยนต์ (Lubricating Systems).....	31
2.10.6	ระบบอากาศและเชื้อเพลิง.....	34
2.10.7	ระบบไอเสีย (Exhaust Gas System).....	35
2.11	พลังงานทดแทน.....	35
2.12	ภาพรวมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานของประเทศ.....	36
2.13	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	44
3.1	บทนำ.....	44
3.2	วิธีดำเนินการวิจัย.....	44

สารบัญ (ต่อ)

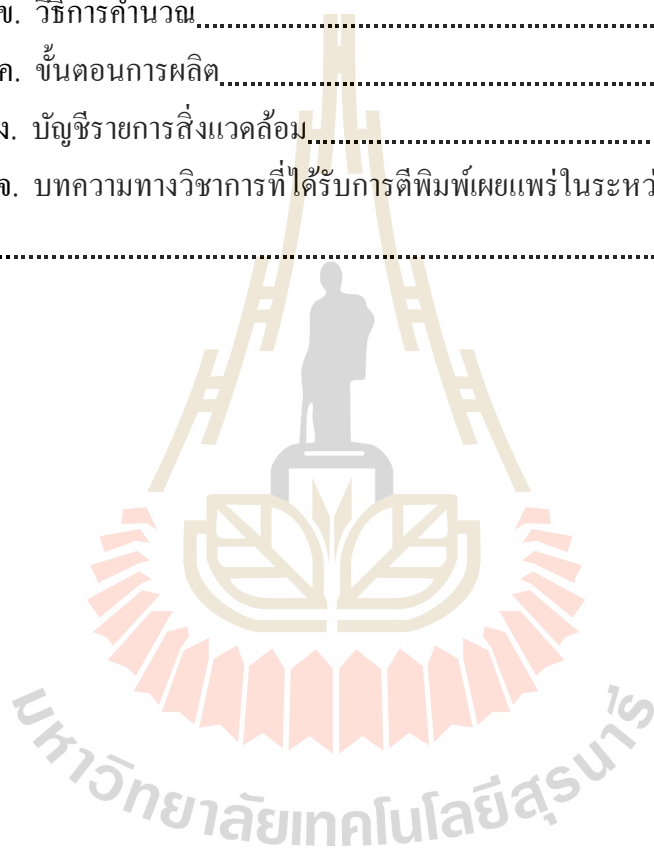
หน้า

3.2.1	กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition).....	44
3.2.1.1	กำหนดเป้าหมาย.....	44
3.2.1.2	ขอบเขตการศึกษา.....	44
3.2.2	การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม.....	45
3.2.2.1	กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	45
3.2.2.2	กระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	46
3.2.3	การประเมินผลกระทบ.....	52
3.2.4	การแปรผล.....	52
4	ผลการดำเนินการวิจัย.....	53
4.1	ผลการดำเนินการวิจัย.....	53
4.1.1	กระบวนการรับน้ำเสีย.....	56
4.1.2	กระบวนการหมักกรด.....	56
4.1.3	กระบวนการปรับสภาพน้ำเสีย.....	57
4.1.4	กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ.....	57
4.1.5	กระบวนการนำออกจากระบบ.....	59
4.1.6	กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	59
4.1.7	กระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	60
4.2	การประเมินก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ แบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง และกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	61
4.2.1	การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนแรก.....	61
4.3	วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	81
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	82
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	82
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	82

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง.....	83
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	86
ภาคผนวก ข. วิธีการคำนวณ.....	89
ภาคผนวก ค. ขั้นตอนการผลิต.....	95
ภาคผนวก ง. บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม.....	99
ภาคผนวก จ. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	113
ประวัติผู้เขียน.....	119



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	ศักยภาพของชีวมวลประเภทน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร.....2
1.2	ขั้นตอนการดำเนินงานและระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย.....5
2.1	ค่าศักยภาพทำให้โลกร้อน (GWP) ที่ใช้ในการคำนวณค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า.....7
2.2	สถานะที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ.....22
2.3	ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานแปรงมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำเสียจากโรงงานประเภทอื่น ๆ.....23
2.4	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ.....27
2.5	ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Biogas, Sewer Gas).....28
2.6	การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้า.....37
3.1	บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้า (รับน้ำเสียเข้าระบบ).....47
3.2	บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้า (กระบวนการหมักกรด).....48
3.3	บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้า (บ่อปรับสภาพ).....48
3.4	บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้า (กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพจากบ่อปิดไม่ใช้อากาศคัดแปลง).....49
3.5	บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้า (น้ำเสียผ่านการบำบัด).....50
3.6	บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้า (กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์).....50
3.7	บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้า (กระบวนการผลิตไฟฟ้า).....51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.8 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ และกระบวนการผลิตไฟฟ้า (ไฟฟ้าที่ใช้ในออฟฟิศ).....	51
4.1 ปริมาณสารขาเข้า-สารขาออกที่เกิดขึ้นของกระบวนการรับน้ำเสีย.....	56
4.2 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการหมักกรด.....	56
4.3 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการปรับสภาพน้ำเสีย.....	57
4.4 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	57
4.5 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการน้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้ว ออกจากระบบ.....	59
4.6 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	59
4.7 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	60
4.8 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการรับน้ำเสีย.....	62
4.9 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการหมักกรด.....	63
4.10 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการปรับสภาพน้ำเสีย.....	64
4.11 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ.....	66
4.12 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการน้ำเสียถูกบำบัดขั้นสุดท้าย.....	70
4.13 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	71
4.14 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	75
4.15 ผลการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยตั้งแต่ต้นทางไปยังปลายทาง.....	78
ก.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้า (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) ประจำปี พ.ศ. 2560.....	87
ก.2 กิจกรรมที่มีการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต ปี พ.ศ. 2560.....	88
ง.1 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการรับน้ำเสียจากโรงงาน.....	100
ง.2 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการหมักกรด (Acidogenesis).....	101
ง.3 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนปรับสภาพน้ำเสีย (Mixing).....	101
ง.4 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพ (Methanogenesis).....	102
ง.5 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการระบายน้ำเสียออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	106

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.6	บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Scrubber).....107
ง.7	บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า.....108



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ขอบเขตการศึกษาของกิจกรรมแต่ละกระบวนการ.....	4
2.1 การคำนวณการลดก๊าซชีวภาพ.....	10
2.2 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	11
2.3 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ.....	14
2.4 เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ.....	25
2.5 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการใช้พลังงานของไทย.....	36
3.1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	46
3.2 กระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	47
4.1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	54
4.2 กระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	55
4.3 ผลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบ่อปิด แบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง.....	79
4.4 เปอร์เซ็นต์ของแต่ละกระบวนการของการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	79
4.5 เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าแต่ละเทคโนโลยี.....	80
4.6 ผลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	80
ก.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากกิจกรรมผลิตก๊าซชีวภาพและผลิตไฟฟ้า.....	88
ค.1 กระบวนการรับน้ำเสีย.....	96
ค.2 กระบวนการหมักกรด.....	96
ค.3 กระบวนการปรับสภาพน้ำเสีย.....	97
ค.4 กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ.....	97
ค.5 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	98
ค.6 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ก๊าซเรือนกระจก คือ ก๊าซในบรรยากาศที่ดูดซับและปลดปล่อยรังสีภายในช่วงความถี่ (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) อินฟราเรดร้อน ในบรรยากาศโลกจะถูกห่อหุ้มไว้เสมือนเรือนกระจก ก๊าซเหล่านี้มีความสำคัญต่อการรักษาระดับอุณหภูมิของโลก ก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นได้ทางธรรมชาติและภาคอุตสาหกรรม โดยทั่วโลกมีแนวโน้มของการเกิดก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases, GHGs) ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อคนและระบบนิเวศธรรมชาติ อาทิเช่น การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ภูมิประเทศ เศรษฐกิจ และสังคมของมนุษย์ทั้งโลก อันเนื่องมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O), ก๊าซมีเทน (CH_4) และระบบบำบัดน้ำเสียถูกระบุว่าเป็นหนึ่งในแหล่งปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งทำให้เกิดก๊าซ CO_2 , CH_4 และ N_2O ขึ้นในระหว่างกระบวนการบำบัด ซึ่งเป็นการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Modified Cover Lagoon) และในกระบวนการผลิตไฟฟ้า มีการปล่อยไอเสียที่ปลายปล่อง ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_x) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและผลิตไฟฟ้า มี CO_2 , CH_4 , N_2O ซึ่งเป็นก๊าซ 3 ใน 6 ตัวหลักที่มีค่าศักยภาพเรื่องภาวะโลกร้อน ในปี พ.ศ. 2543 (ค.ศ.2000) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศรวมแหล่งปล่อย และส่วนที่ดูดกลับเท่ากับ 229.08 TgCO_2eq หรือล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ภาคพลังงานเป็นภาคที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็น 159.39 TgCO_2eq หรือล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือร้อยละ 69.6 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศภาคที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดคือ ภาคของเสีย คิดเป็นปริมาณการปล่อยเท่ากับ 9.32 TgCO_2eq หรือล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าหรือร้อยละ 4.10 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกและสัดส่วนต่อการปล่อยทั้งหมดของประเทศ

ในขณะเดียวกันมีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น ในกลุ่มของอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลัง ซึ่งมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยจังหวัดที่เป็นแหล่งปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญ ได้แก่ นครราชสีมา กำแพงเพชร กาญจนบุรี เป็นต้น ในปัจจุบันโรงงานผลิตแปรรูปมันสำปะหลังยังมีศักยภาพในการผลิตพลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพได้สูงสุด ดังตารางที่ 1.1

โดยระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย คือ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง (Modified Cover Lagoon, MCL) และระบบผลิตก๊าซแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) ซึ่งทั้งสองระบบนี้เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพที่ดีของกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

ตารางที่ 1.1 ศักยภาพของชีวมวลประเภทน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร

ประเภทโรงงาน	ปริมาณน้ำเสีย (ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี)	ค่า COD เฉลี่ย (มิลลิกรัม/วัน)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ ที่ผลิตได้ (ลูกบาศก์เมตร/ปี)	คิดเป็นค่า พลังงาน (PJ /ปี)
แบริ่งมันสำปะหลัง	55.0	7,550	166.3	4.0
น้ำตาล	76.2	2,930	89.4	2.1
ปาล์มน้ำมัน	3.3	52,000	67.7	1.6
อาหารทะเลกระป๋อง	17.4	6,800	47.3	1.1
โรงฆ่าสัตว์	16.8	2,280	15.4	0.4

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ ข้อมูลของ พ.ศ.2543

ทั้งนี้จึงได้มีการจัดทำทางารประเมินรอยเท้าคาร์บอนหรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ได้กำหนดวิธีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA) ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดเศษซากหลังการใช้งาน ซึ่งผู้ผลิตสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle to Grave) หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตในโรงงาน (Cradle to Gate) สำหรับแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศไทยนั้น มีการจัดทำข้อกำหนดที่เป็นเกณฑ์กลางสำหรับใช้ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับทุกผลิตภัณฑ์เท่านั้น ส่วนในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ได้มีการจัดทำข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product Category Rules: PCRs) เพื่อให้สามารถประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันมากขึ้น ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ ได้แก่ การเลือกผลิตภัณฑ์ การจัดทำแผนผังวัฏจักรชีวิต

ของผลิตภัณฑ์ การกำหนดขอบเขตการประเมิน การรวบรวมข้อมูล การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และการตรวจสอบความถูกต้อง

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศ และกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยศึกษาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต ซึ่งผลการศึกษาจะทำให้ทราบถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ ตลอดทั้งกระบวนการที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง

1.2.2 เพื่อศึกษาและประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ

1.2.3 เพื่อเสนอแนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้า

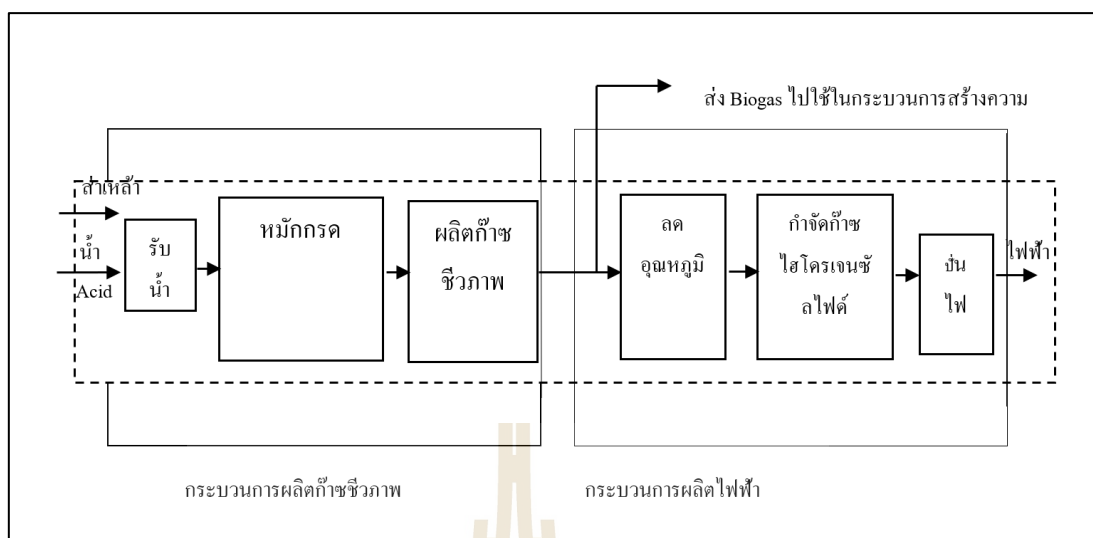
1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ทำการศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพตั้งแต่วัตถุดิบที่รับเข้ามา กระบวนการหมักกรด กระบวนการสร้างมีเทน ส่วนกระบวนการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ กระบวนการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ลดความชื้น จนถึงผลิตไฟฟ้า

1.3.2 ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร และผลิตไฟฟ้าขนาด 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง

1.3.3 สืบหาข้อมูลต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

1.3.4 ตัวแปรด้านสิ่งแวดล้อมที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลงและโรงไฟฟ้า (Gate to gate)



รูปที่ 1.1 ขอบเขตการศึกษาของกิจกรรมแต่ละกระบวนการ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและผลิตไฟฟ้าเพื่อให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.4.2 ช่วยเสนอแนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิต

1.4.3 สามารถลดปริมาณภาระที่ต้องบำบัดน้ำเสียลงจากโรงงานอุตสาหกรรม

1.4.4 สร้างมูลค่าเพิ่มทางด้านเศรษฐกิจจากน้ำเสียของโรงงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5 แผนการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานและระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ที่	แผนการดำเนินงาน	ปี พ.ศ. 2561								ปี พ.ศ. 2562			
		พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	รวบรวมข้อมูล สํารวจปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←→	←→	←→	←→								
2	ศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ และกระบวนการผลิตไฟฟ้า		←→	←→	←→	←→							
3	ค้นหาข้อมูลวัตถุดิบแต่ละกระบวนการผลิต		←→	←→	←→	←→							
4	ค้นหาข้อมูล Emission factor				←→	←→							
5	คำนวณและบันทึกผล						←→	←→	←→				
6	สรุปผลการศึกษา									←→	←→		
7	จัดทำวิทยานิพนธ์									←→	←→	←→	
8	สอบวิทยานิพนธ์												←→

บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ชนิดของก๊าซเรือนกระจก

ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) คือ กระบวนการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวโลกที่ถูกดูดซับโดยก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ และแผ่รังสีกลับในทุกทิศทาง ปรากฏการณ์เรือนกระจกตามธรรมชาติของโลกทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถอาศัยอยู่ได้ แต่กิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะการเผาไหม้เชื้อเพลิง การทำลายป่า และการใช้สารเคมีบางจำพวก ส่งผลให้ชั้นบรรยากาศมีความสามารถในการกักเก็บรังสีความร้อนได้มากขึ้น ผลที่ตามมาคืออุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศจะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง

ก๊าซเรือนกระจกที่ควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโต 6 ชนิด ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) กลุ่มไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) กลุ่มเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) โดยกำหนดการลดก๊าซเหล่านี้ให้คิดเทียบเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Equivalent)

2.1.2 ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน แสดงดังตารางที่ 2.1 โดยค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential, GWP) ประเมินได้จากการวัดหรือคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นจริง และแปลงค่าให้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนในรอบ 100 ปีของ IPCC (GWP100) ที่เป็นค่าล่าสุดเป็นเกณฑ์ ตัวอย่างเช่น ก๊าซมีเทนมีค่า GWP100 เท่ากับ 25 หมายความว่า ก๊าซมีเทน 1 กิโลกรัม มีศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 กิโลกรัม ดังนั้นการปล่อยก๊าซมีเทน 1 กิโลกรัม คิดเป็นศักยภาพในการทำให้โลกร้อน 25 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ค่าศักยภาพทำให้โลกร้อน (GWP) ที่ใช้ในการคำนวณค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ก๊าซเรือนกระจก	อายุในชั้นบรรยากาศ (ปี)	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะ โลกร้อน (เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์)
1.ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)*	200-450	1
2.ก๊าซมีเทน (CH ₄)*	9-15	25
3.ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O)*	120	298
4.ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)*	100	124-14,800
5.เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs)*	50,000	7,390-12,200
6.ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF ₆)*	3,200	22,800

ที่มา: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), **Third Assessment Report(2000).

*Fourth Assessment Report (2007)

2.1.3 หน่วยการแสดงผลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยและดูดกลับขององค์กร

การแสดงผลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยและดูดกลับขององค์กรอยู่ในหน่วยกิโลกรัมของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด และรวมอยู่ในหน่วยกิโลกรัมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

2.2 วิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หรือกิจกรรมต่าง ๆ ในเชิงปริมาณ (Quantitative) โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน/บำรุงรักษา การใช้ซ้ำ (Reuse) รวมถึงการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการกำจัดหลังหมดอายุการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization, ISO) ได้ให้ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า “เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร”

สำหรับงานวิจัยนี้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบ Gate to gate ซึ่งเป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เฉพาะกระบวนการในส่วนของการผลิตก๊าซชีวภาพ และกระบวนการผลิตไฟฟ้าเท่านั้น

2.3 การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition)

การกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ เป็นขั้นตอนแรกในการทำ LCA โดยพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษา เพื่อให้ผู้รับสามารถนำผลการประเมินไปใช้ได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ การกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ต้องครอบคลุมปัญหาเหล่านี้ได้แก่ การนำผลมาวิเคราะห์ การประเมินวัฏจักรชีวิตไปใช้ทำอะไร การเปลี่ยนแปลงใดเกิดขึ้นเมื่อมีการนำหลักการ LCA มาพิจารณาและผลิตภัณฑ์ใหม่จะได้รับการปรับปรุงในเรื่องใดบ้าง และจะเกิดผลอย่างไร

2.4 การกำหนดขอบเขต (Scope Definition)

การกำหนดขอบเขต คือ การบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่อำนวยความสะดวกต่อเป้าหมาย LCA ประกอบด้วย กำหนดสิ่งที่ต้องการศึกษารวมถึงการกำหนดหน่วยหน้าที่หรือสิ่งที่ผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ (Functional Unit, FU) ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับสาขาเข้าและสาขาออกของระบบ มีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกัน การบ่งชี้กระบวนการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายของ LCA ซึ่งการกำหนดขอบเขตประกอบไปด้วย ขอบเขตระบบ (System Boundary) หมายถึงขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมหรือระบบผลิตภัณฑ์อื่น โดยที่ระบบผลิตภัณฑ์รวมเอาหน่วยที่รวบรวมวัตถุดิบและพลังงานที่มีการเชื่อมโยงกัน ทำหน้าที่อย่างเดียวหรือหลายอย่าง สามารถแบ่งขั้นตอนของทรัพยากร วัตถุดิบ หรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบก่อนมีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการ

2.5 การรวบรวมข้อมูล

2.5.1 ข้อมูลปฐมภูมิ

ได้นำข้อมูลสาขาเข้าและสาขาออก ซึ่งเป็นข้อมูลจริงจากการตรวจวัดหน้างาน บันทึกการวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิต ใบสั่งซื้อจากแผนกจัดซื้อ บิลค่าไฟ โดยการเก็บรวบรวมข้อมูล ตั้งแต่ปริมาณการใช้วัตถุดิบ พลังงานที่ใช้ และการปลดปล่อยของเสียต่าง ๆ โดยการเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

2.5.2 ข้อมูลทุติยภูมิ

เป็นการรวบรวมเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้อง เช่น จากคู่มือการพัฒนาและผลิตพลังงานทดแทน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

2.6 การปันส่วน (Allocation)

ข้อมูลที่ได้จากกระบวนการผลิตอาจมีผลิตภัณฑ์ร่วมหรือผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณผลมีความชัดเจนจึงต้องมีการปันส่วนข้อมูล ซึ่งการปันส่วนเป็นวิธีการแบ่งหรือให้น้ำหนักกับสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ที่สนใจศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทที่ชัดเจน โดยทำเพื่อเป็นการกระจายภาระทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมหนึ่ง ๆ ไปยังแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยมีหลักการสำคัญ คือ

2.6.1 การปันส่วนโดยใช้คุณสมบัติทางกายภาพ

การปันส่วนโดยใช้คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น น้ำหนักผลิตภัณฑ์ หากไม่มีข้อมูลเฉพาะของการผลิตจำเป็นต้องทำการปันส่วนโดยใช้ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น การใช้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ร่วม ในการกำหนดที่จะใช้ในการคำนวณ

2.6.2 การปันส่วนโดยใช้มูลค่าของผลิตภัณฑ์

ในบางครั้งการปันส่วนด้วยปริมาณไม่สามารถใช้เป็นพื้นฐานได้ การปันส่วนตามราคาของผลิตภัณฑ์เป็นอีกวิธีการปันส่วนที่ได้รับความนิยม เนื่องจากราคาดผลิตภัณฑ์จะเป็นตัวแปรที่กำหนดความต้องการในการผลิตของโรงงาน จึงควรให้สัดส่วนน้ำหนักสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูงในการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีราคาต่ำกว่า

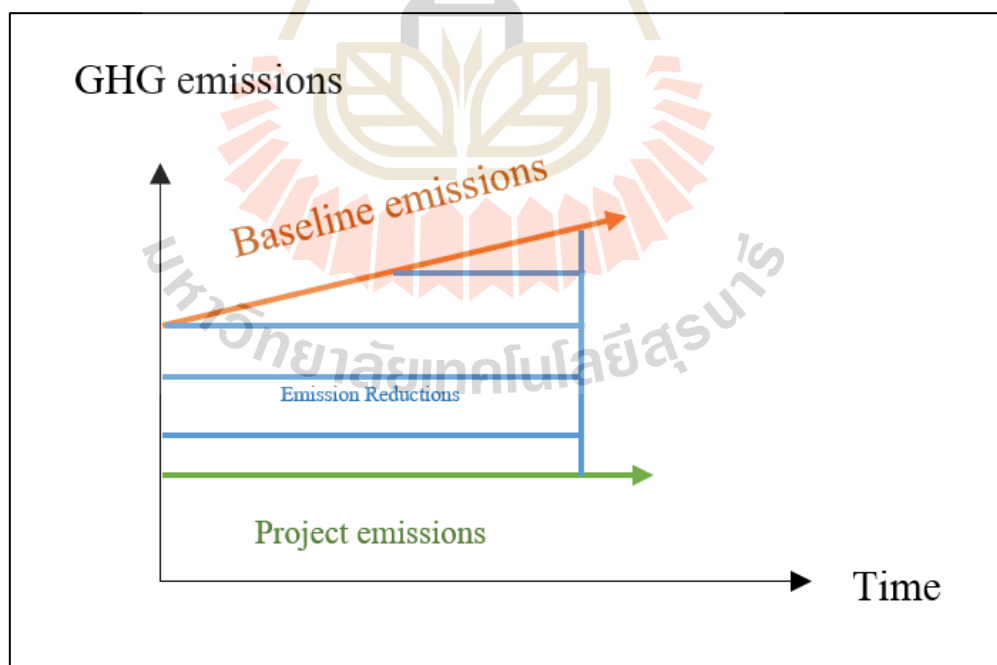
การคัดออก (Cut-Off Rule) เมื่อทำการศึกษากระบวนการผลิตใด ๆ แล้ว พบว่ามีบางกระบวนการอยู่นอกเหนือวัตถุประสงค์ของการศึกษา หรือกระบวนการนั้นไม่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์เป้าหมายที่ทำการศึกษา หรือกระบวนการนั้น ๆ ไม่สามารถวัดออกมาเป็นตัวเลขได้ อาจนำหลักการคัดออกมาประยุกต์ใช้ คือ สมมติฐานทั่วไปของการตัดข้อมูลจะต้องมีข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด สำหรับข้อมูลที่ขาดให้สามารถตัดออกได้ โดยข้อมูลที่ตัดออกต้องมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่เกินร้อยละ 5 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้งระบบผลิตภัณฑ์ และเมื่อตัดออกแล้วให้ทำการเพิ่มสัดส่วน (Scale Up) ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากวัตถุดิบและสารขาออกรวมโดยใช้ฐานเท่ากับร้อยละ 200

2.7 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ในส่วนนี้จะอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียดและวิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดยคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ ผลรวมของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องการผลิต ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรม} = \text{ข้อมูลกิจกรรม} \times \text{ค่า สปส. ของกิจกรรม} \quad (2.1)$$

โดยที่ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมมีหน่วยเป็น $\text{kg CO}_2\text{-eq}$, ข้อมูลกิจกรรมมีหน่วยเป็น หน่วย และค่า สปส. ของกิจกรรมมีหน่วยเป็น $\text{kg CO}_2\text{-eq / หน่วย}$ ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรม ($\text{kgCO}_2\text{e/หน่วย}$) มีค่าเท่ากับผลรวมของผลคูณระหว่างปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg GHG/หน่วย) และค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจก ($\text{kgCO}_2\text{e/Kg GHG}$) จากสูตรการคำนวณสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.1 การคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจก



รูปที่ 2.1 การคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจก (ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก)

GHG Emission Reduction หมายถึง ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่ลดได้ (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี)

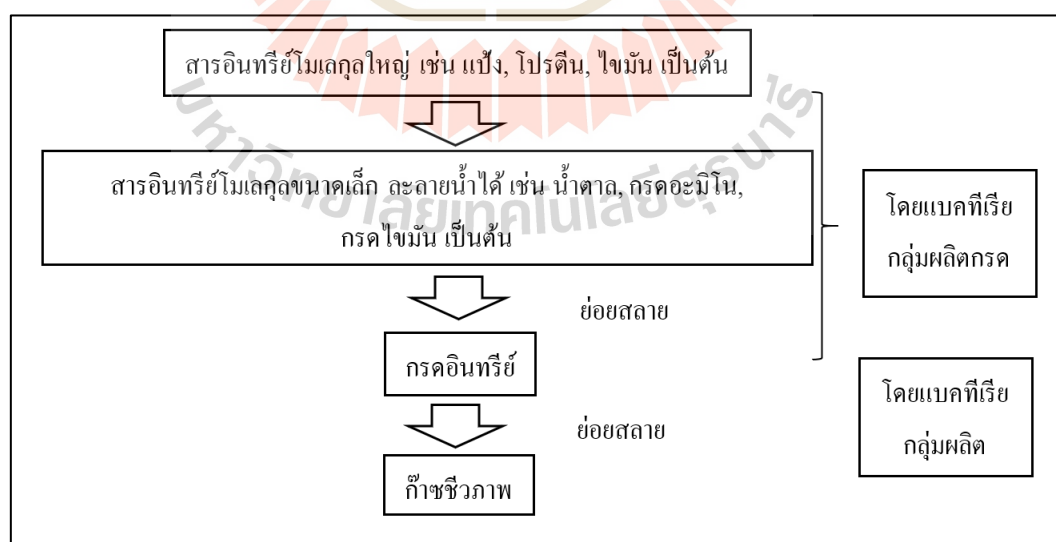
Baseline Emission หมายถึง ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ในกรณีฐาน (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี)

Project Emission หมายถึง ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) จากการดำเนินโครงการ (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี)

Leakage หมายถึง ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากโครงการแต่เกิดขึ้นภายนอกขอบเขตของโครงการ (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี)

2.8 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) หมายถึง ก๊าซที่เกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกาศ กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ ดังรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปจะหมายถึง ก๊าซมีเทน ที่เกิดจากการกหมัก (Fermentation) ของอินทรีย์วัตถุ ซึ่งประกอบด้วย ปุ๋ยคอก โคลนจากน้ำเสีย ขยะประเภทของแข็งจากเมือง หรือของเสียชีวภาพจากอาหารสัตว์ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) องค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

2.8.1 กระบวนการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้ออกาศ (Anaerobic Digestion)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกาศ เป็นระบบที่มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ (Organic Matter) ปริมาณความเข้มข้นสูง ภายในระบบจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกาศซึ่งประกอบด้วย การย่อยสลายหลายขั้นตอนที่มีความซับซ้อน โดยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายกลุ่ม แต่ละกลุ่มก็จะทำหน้าที่ต่างกันในแต่ละขั้นตอนของการย่อยสลาย เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้

ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกาศโดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดเป็น 4 กระบวนการ ดังนี้

1) กระบวนการสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis)

กระบวนการสลายสารอินทรีย์ เป็นขั้นตอนของการย่อยสลายสารอินทรีย์ โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิก เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน เป็นต้น ให้มีขนาดโครงสร้างโมเลกุลเล็กที่สามารถละลายน้ำได้ ผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน เป็นต้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียและองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ แบคทีเรียกลุ่มที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้ คือ แบคทีเรียกลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic Bacteria) และกลุ่มเฟอร์เมนเตทีฟ (Fermentative Bacteria)

2) กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

กระบวนการสร้างกรด เป็นการเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) โดยจุลินทรีย์กลุ่ม Fermentative Bacteria หรือ Acid Forming Bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียสร้างกรดที่ทำหน้าที่ในการดูดซึมสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่สามารถละลายน้ำได้จากการไฮโดรไลซิสในขั้นที่ 1 เข้าสู่เซลล์ เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการผลิตพวกกรดระเหยง่ายที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้น เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดโพรพิโอนิก ($\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$) กรดบิวทีริก ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$) เป็นต้นและสารอื่น ๆ เช่น เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$) ไฮโดรเจน (H_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น

3) กระบวนการเปลี่ยนกรดอินทรีย์เป็นกรดอะซิติก (Acetogenesis)

กระบวนการเปลี่ยนกรดอินทรีย์เป็นกรดอะซิติกโดยแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic) จะทำการย่อยสลายกรดระเหยง่ายที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่หรือมีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม และสารประกอบที่เป็นกลางซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าเมทานอล ได้แก่ แอลกอฮอล์ กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก กรดไอโซบิวทีริก (Isobutyric Acid) กรดแลคติก (Lactic Acid)

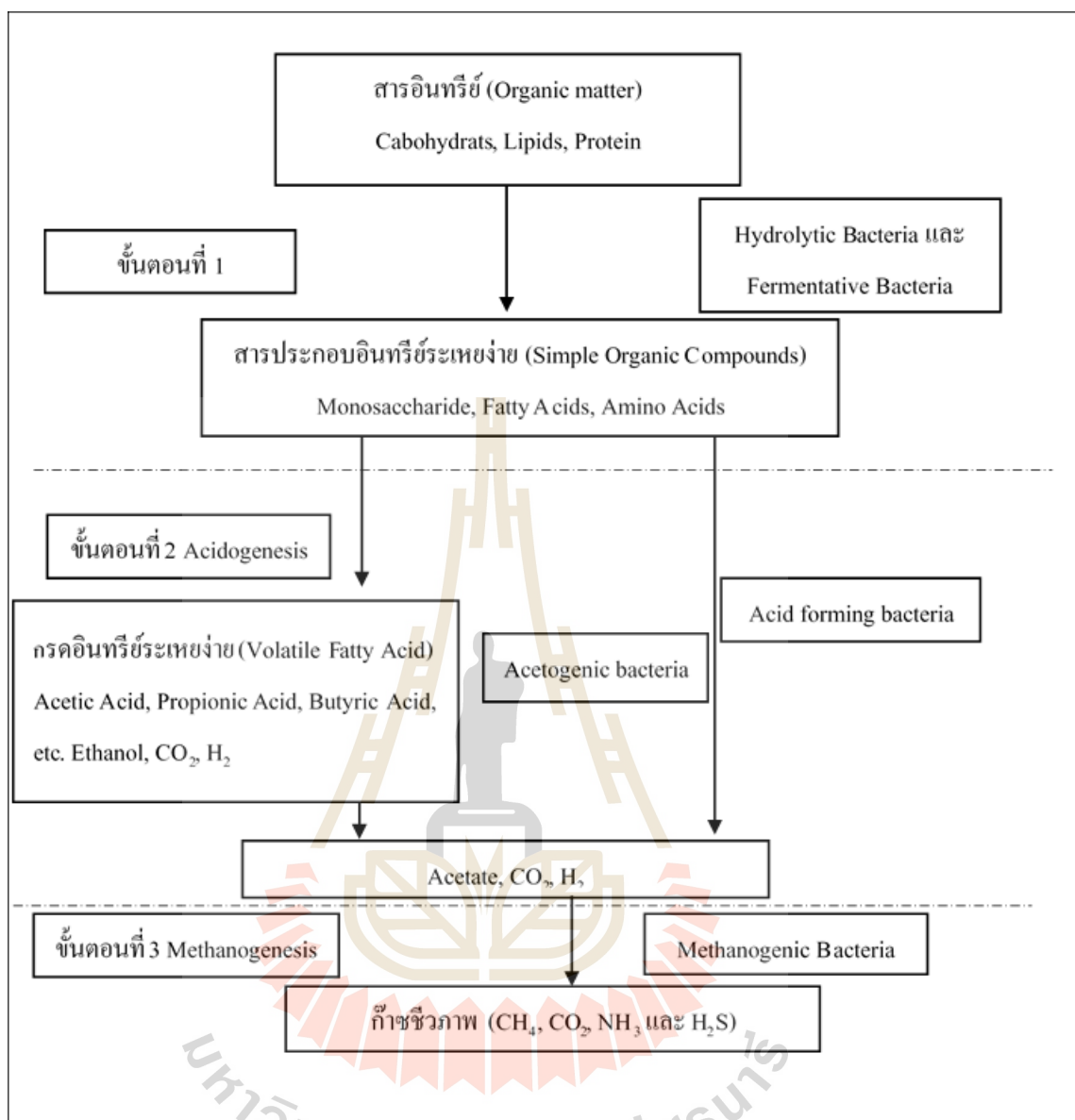
เป็นต้น ให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยแบคทีเรียกลุ่ม Homogenic Bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มของ Facultative Bacteria

4) กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กระบวนการสร้างมีเทนเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอะซิติกให้กลายเป็นมีเทนเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลผลิตสุดท้ายคือ ก๊าซมีเทน(CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) สารตั้งต้นของขั้นตอนนี้เป็นผลผลิตที่ได้มาจากระยะก่อนการผลิตกรดโดยสารตั้งต้นที่มีความสำคัญมากที่สุดคือกรดอะซิติก และก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปฏิกิริยา ดังสมการ



แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้มีความเฉพาะเจาะจง คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน(Methanogenis producing bacteria) อาทิเช่น Acetoclastic Methanogenic Bacteria (Acetophilic methanogen) และ Hydrogenophilic methanogen แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมมาก มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่น ๆ ดังนั้นการเจริญเติบโตและปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มนี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ

(Breure, A.M. and Andel, J.G., 1987)

2.8.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดร่วมกัน ซึ่งแบคทีเรียที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid Forming Bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methane Producing Bacteria)

2.8.2.1 แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid Forming Bacteria)

แบคทีเรียส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้คือ Facultative Anaerobic Bacteria ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีอากาศ โดยได้รับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมัน กรดอินทรีย์ระเหยง่าย แอลกอฮอล์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ สภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าควบคุมเป็นกรดต่าง 4.0-6.5 และทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดแบ่งได้ เป็น 2 กลุ่มดังนี้

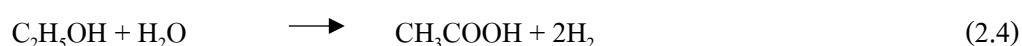
(1) อะซิโดเจนนิกแบคทีเรีย

แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นกลุ่มใหญ่ที่สุดในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ เนื่องจากสามารถใช้อาหารได้หลายชนิดและมีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ให้เป็นสารโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ ผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก กรดฟอร์มิก เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้สารประกอบพวกแอลกอฮอล์ คีโตน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน แบคทีเรียในกลุ่มนี้ประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ชอบอากาศและแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ทั้งที่มีและไม่มีอากาศ (Facultative Anaerobic Bacteria)

(2) อะซิโดเจนนิกแบคทีเรีย

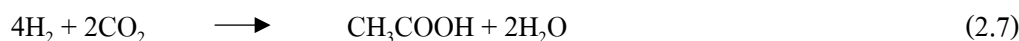
แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นพวกย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายในกระบวนการไฮโดรไลซิสและอะซิโดเจนิซิส แล้วเปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติก สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

ก) Hydrogen Producing Acetogenic Bacteria แบคทีเรียในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนไฮโดรไลซิส ได้แก่ แอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ที่มีอะตอมของคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลายตัวแล้วได้เป็นกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจน หรือกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนเป็นผลผลิต ดังสมการ

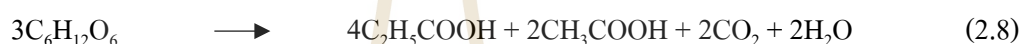


ข) Homoacetogenic Bacteria แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

(ข1) Autotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอน 1 อะตอม เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ในการเจริญเติบโตและได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นอะซิเตต (หรือกรดอะซิติก) ดังสมการ



(ข2) Heterotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอมในการเจริญเติบโต ผลผลิตที่ได้มีทั้งอะซิเตตและโพรพิอเนตซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน ดังสมการ



* หมายเหตุ: การที่กรดอินทรีย์ซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อละลายในน้ำแล้วจะอยู่ในรูปเกลือของกรดเรียกเป็นเอต เช่น กรดอะซิติก เมื่อแตกตัวได้ เป็นอะซิเตต และไฮโดรเจนไอออน

2.8.2.2 แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methane Producing Bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนสามารถใช้สารอาหารได้ไม่กี่ยชนิด แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถแบ่งตามชนิดการใช้สารอาหารตั้งต้นได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

(1) Hydrogenotrophic methanogens ซึ่งเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นก๊าซมีเทน ดังสมการ



แบคทีเรียกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญคือก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสถานะไม่ใช้ออกซิเจนขั้นตอนที่ 2 โดยช่วยคงสถานะให้มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนต่ำลง ซึ่งมีผลต่อการเกิดอะซิเตตอย่างต่อเนื่อง

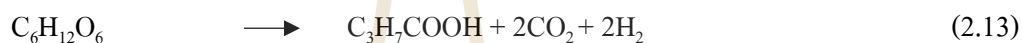
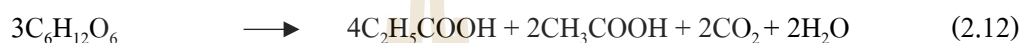
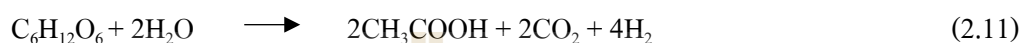
(2) Acetotrophic Methanogens หรือ Acetoclastic n=Bacteria ซึ่งจะเปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ



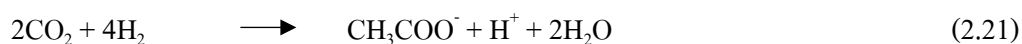
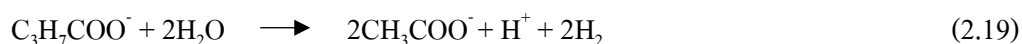
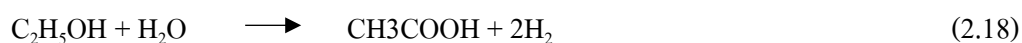
ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในปฏิกรณ์ประมาณ 2 ใน 3 เกิดจากการเปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Acetotrophic Methanogens และที่เหลือเป็นผลของปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Hydrogenotrophic Methanogens

ตัวอย่างปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ

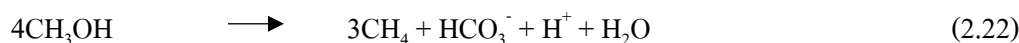
A. ปฏิกิริยาการย่อยสลายกลูโคส (Fermentative Reactions):



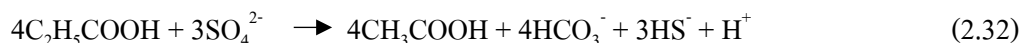
B. ปฏิกิริยาการเกิดกรดอะซิติก (Syntrophic Acetogenic Reactions):



C. ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทน (Methanogenic Reactions):



D. ปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Sulfidogenic Reactions):



2.8.3 สถานะแวดล้อมและปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายในสถานะไม่ใช้ออกาศ

1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกาศ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาชีวเคมีจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น และอุณหภูมิที่แบคทีเรียเจริญเติบโตได้เป็นอุณหภูมิที่มีผลต่อองค์ประกอบของเซลล์และกิจกรรมของเอนไซม์ ภายในเซลล์ อุณหภูมิถูกแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ

(ก) ช่วงไซโครฟิลิก (Psychrophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 °C

(ข) ช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-40 °C

(ค) ช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 45 °C

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วงที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนในระบบได้ดี คือ ช่วง 30-38 °C และช่วง 48-57 °C การเดินระบบที่ช่วงอุณหภูมิสูง มีข้อเสียที่ Thermophilic Bacteria ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่ากับ Mesophilic Bacteria จึงมีความเสี่ยงต่อการล้มเหลวของระบบสูง การเดินระบบที่อุณหภูมิสูงยังส่งผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์อีกด้วย

2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เป็นตัวที่วัดค่าความเป็นกรดหรือด่างในระบบ ค่าเหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6.6-7.4 ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง เกิดขึ้นอยู่เป็นประจำ สาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างภายในถังปฏิกรณ์คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ถ้ามีการป้อนสารอินทรีย์เข้าในปริมาณมากเกินไปจะทำให้แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด ผลิตกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณมาก จนแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนไม่สามารถใช้ได้ทัน จึงเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบลดลง ดังนั้นระบบจะต้องมีความสามารถในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ดี เพื่อรับมือกับกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบ หากระบบมีค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ที่มากพอ ก็สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง

3) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity: Alk)

ค่าความเป็นด่าง เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณบัฟเฟอร์ (Buffering Capacity) ของระบบ ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง และยังเป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของระบบ ถ้าระบบมีค่าความเป็นด่างสูงแสดงว่าระบบมีปริมาณบัฟเฟอร์สูงสามารถรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบให้คงตัวอยู่ได้นาน โดยไม่เกิดการแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่างได้ง่ายเมื่อมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเพิ่มขึ้นในระบบ โดยพบว่าค่าความเป็นด่างภายในระบบควรมีอยู่ในช่วง 1,000-3,000 มิลลิกรัมของแคลเซียมคาร์บอเนต/ลิตร ค่าความเป็นด่างที่มีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศไม่ควรต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมของแคลเซียมคาร์บอเนต/ลิตร ดังนั้นในการควบคุมระบบให้ทำงานเป็นปกติ จำเป็นต้องรักษาค่าความเป็นด่างไม่ให้มีค่าต่ำจนเกินไป

4) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids: VFA)

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ กรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทีริก และกรดโพรพิโอนิก เป็นต้น ผลผลิตเหล่านี้เป็นสารตัวกลางส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแบบไม่ใช้อากาศของแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด หากพบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีมากขึ้น เป็นสัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของระบบ ในระบบที่มีการสะสมของปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณมาก ($> 2,000$ มิลลิกรัมของกรดอะซิติก/ลิตร) ช่วงแรกจะทำให้ค่าความเป็นด่างของระบบลดลง และถ้ายังไม่มีการกำจัดปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายให้น้อยลง ต่อมาค่าความเป็นกรด-ด่าง ของระบบลดต่ำลง และถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน หากยังไม่ทำการแก้ไขปล่อยให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดต่ำลงถึง 4.5-5.0 จะทำให้ระบบเสียสมดุลเป็นผลให้ระบบล้มเหลวได้ ในสภาวะปกติปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายภายในถังปฏิกรณ์ไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัมของกรดอะซิติก/ลิตร และวิธีการควบคุมระบบที่ดีที่สุดควรมีค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่างไม่ควรเกิน 0.3-0.4

วิธีการแก้ไขให้ระบบกลับสู่สภาพสมดุล มีดังนี้

- (1) ตรวจสอบที่มีของการป้อนสารอินทรีย์ที่มากเกินไป
- (2) แก้ไขโดยลดการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบ และควรมีบ่อเก็บน้ำเสียสำรอง
- (3) กรณีฉุกเฉินที่ต้องการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสม อาจใช้วิธีการเติมสารเคมี เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เป็นต้น ไม่ควรใช้ปูนขาว Ca(OH)_2 เนื่องจากอาจทำให้เกิดการอุดตันในระบบ
- 5) อัตราภาระการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate: OLR)

อัตราการรับสารอินทรีย์ มีหน่วยเป็นน้ำหนักของชีโอดีที่อยู่ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดต่อปริมาตรของบ่อบำบัดต่อวัน ($\text{kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$) อัตราภาระการรับสารอินทรีย์มีความสัมพันธ์กับอัตราไหลของน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการบำบัด (Feeding Rate) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการรักษาเสถียรภาพของระบบให้คงที่ การเปลี่ยนอัตราภาระการรับสารอินทรีย์สามารถทำได้ 2 วิธี

(ก) ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด วิธีนี้มีผลต่อระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time: HRT) ภายในระบบบำบัดด้วย

(ข) การเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเสีย ซึ่งวิธีนี้ค่อนข้างทำได้ยาก เนื่องจากน้ำทิ้งของโรงงานแต่ละประเภทมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน

ดังนั้นในทางปฏิบัติ การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดทำได้ง่ายกว่า โดยต้องมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดให้สัมพันธ์กับระยะเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสกันระหว่างแบคทีเรียกับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เพื่อให้ระบบบำบัดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

6) อัตราการผลิตก๊าซมีเทนและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

อัตราการผลิตก๊าซมีเทนทำให้ทราบถึงความสามารถของจุลินทรีย์และประสิทธิภาพของระบบ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นตัวแปรที่สามารถบอกได้ว่าเกิดความผิดปกติกับจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน หากพบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนลดลง จุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนอาจถูกยับยั้งการทำงาน เป็นต้น ดังแสดงตารางที่ 2.2 ค่าสถานะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศและในองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพควรมีก๊าซมีเทนในช่วง 60-65% ซึ่งจากทฤษฎีแล้วในการผลิตก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสนั้น จะได้ก๊าซมีเทน 0.35 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด

อัตราการทดแทนการใช้พลังงานต่าง ๆ ของก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร (ที่มีก๊าซมีเทน 60%) จะสามารถทดแทนพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ดังนี้

- ก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม
- น้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร
- น้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร
- น้ำมันเตา 0.55 ลิตร
- ฟืนไม้ 1.50 กิโลกรัม
- ผลิตกระแสไฟฟ้า 1.2-2.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับเครื่องยนต์ที่ผลิตไฟฟ้า)

(ที่มา: ไบโอบีโกลี เซฟตี้ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

ตารางที่ 2.2 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

สภาวะแวดล้อม	ช่วงค่าที่เหมาะสม	ช่วงค่าที่ยอมรับได้
อุณหภูมิ (°C)	30-35	25-40
pH	6.8-7.2	6.6-7.4
ค่าความเป็นด่าง (มก.ของ $\text{CaCO}_3/\text{ล.}$)	2000-3000	1000-4000
ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (มก.ของ $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{ล.}$)	50-500	2000
ประสิทธิภาพการกำจัดค่า COD	> 85%	75-85%
ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ต่อค่าความเป็นด่าง (VFA/Alk Ratio)	< 0.3	0.03-0.3
% CH_4	60-65	55-60
H_2S ที่ละลายน้ำเสีย (ppm)	< 30	< 200
อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)	40-50	< 100

ที่มา: สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม

7) ศักยภาพในการให้พลังงานของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่มีพลังงานความร้อนสูง ให้พลังงานความร้อนได้ประมาณ 9,000 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 21,000 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจึงสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปพลังงานได้ เช่น เผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรงใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือใช้เชื้อเพลิงการผลิตไอน้ำ และเชื้อเพลิงการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น โดยก๊าซชีวภาพที่ศึกษาเป็นก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียโรงงานแปรงมันสำปะหลัง ดังตารางที่ 2.3 แสดงค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานแปรงมันสำปะหลัง ในส่วนของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพของกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน

ตารางที่ 2.3 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานแป่งมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำเสียจากโรงงานประเภทอื่น ๆ

แหล่งของน้ำเสีย	ปริมาณน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตร)	ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตร)
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	1	15
โรงงานแป่งข้าวเจ้า	1	2.4
โรงงานแป่งมันสำปะหลัง	1	7
โรงฆ่าสัตว์	1	0.7
ฟาร์มสุกร	1	3.5

(ที่มา: อ้างอิงจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

2.9 หลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย (Modified Cover Lagoon)

หลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นระบบบ่อหมักที่ลักษณะการไหลของน้ำเสียเป็นแบบตามแนวนอน (Horizontal Flow) ที่ถูกออกแบบให้มีลักษณะการหมักย่อยแบบต่อเนื่องกันไป ก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นได้จะถูกกักเก็บเอาไว้ใต้พื้นพลาสติกคลุมบ่อก๊าซชีวภาพนี้ ซึ่งพร้อมนำไปใช้ได้ทันทีที่ภาคตะกอนที่ผ่านการย่อยแล้วจะไหลไปตามแนวการเคลื่อนตัวของน้ำเสียตามแนวนอนและถูกระบายออกที่ด้านท้ายของบ่อนี้ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ยชีวภาพต่อไป ด้านท้ายบ่อหมักก๊าซชีวภาพจะติดตั้งอุปกรณ์แยกการตกตะกอนออกจากน้ำเสียส่วนใส เพื่อระบายเฉพาะน้ำเสียส่วนใสออกจากระบบก๊าซชีวภาพเท่านั้น โดยระบบดังกล่าวจะมีการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำเสียและตะกอน เพื่อทำหน้าที่หมุนเวียนตะกอนและน้ำเสียเพื่อรักษาภาวะสมดุลของการย่อยสลายทำให้เดินระบบได้ง่ายและระบบมีเสถียรภาพ ลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Modified Cover Lagoon เป็นสระหรือบึงรูปรางสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีการคลุมด้วยแผ่นพลาสติกจำพวกจำพวก High Density Polythylene (HDPE) หรือแผ่นพีวีซี (PVC) เพื่อให้เกิดสภาพไม่ใช้อากาศและใช้เป็นตัวเก็บรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยอาจคลุมทั้งบ่อหรือคลุมเฉพาะในส่วนที่มีการสร้างมีเทนก็ได้ โดยที่มีการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของตะกอนแบคทีเรียกับน้ำเสียให้มากขึ้น

ข้อดีของระบบ MCL

1. ระบบ MCL มีเวลากักเก็บตะกอน (Solid Retention Time) ที่ยาวนานจึงมั่นใจได้ว่าสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากจะถูกกักไว้ภายในบ่อ และถูกย่อยสลายในท้ายที่สุด คล้ายคลึงระบบ ABR

2. การที่บ่อมีขนาดใหญ่ส่งผลให้ระบบสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีของน้ำเสียได้สูง ยิ่งกว่านั้นระบบ MCL ยังสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพทาง Hydraulic Load และ Organic Load ได้ดี คล้ายคลึงระบบ Covered Lagoon

3. ระบบ MCL ถูกออกแบบให้มีการกระจายน้ำเข้าบริเวณใต้พื้นบ่ออย่างสม่ำเสมอผ่านชั้นตะกอนแบคทีเรีย น้ำเสียทั้งหมดจะถูกผสมผสานเข้ากับตะกอนแบคทีเรียที่หนาแน่นบริเวณพื้นบ่อ ฟองก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น รวมถึงความเร็วของน้ำที่ผ่านออกจาก Nozzle จะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนในบริเวณพื้นบ่อ ซึ่งส่งผลให้เกิดการผสมผสานของตะกอนแบคทีเรียและสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ดีขึ้นคล้ายคลึงระบบ UASB

4. การผันน้ำภายในบ่อและน้ำที่ผ่านการบำบัดมาผสมกับน้ำเสียที่เข้ามาใหม่ (Recycle) จะช่วยลดค่าพีเอช ลดความเข้มข้นของสารพิษ ลดค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และสารแขวนลอยลง เพราะหากระบบมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์หรือสารแขวนลอยมากเกินไปแบคทีเรียที่ทำหน้าที่สร้างกรดอินทรีย์อาจจะสร้างกรดอินทรีย์มากเกินไปจนแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านี้ได้ทันเวลา ส่งผลให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ภายในบ่อซึ่งจะทำให้ค่าพีเอชภายในบ่อลดลงจนแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ในที่สุด

5. การวางแผ่นกั้น (Baffle) ไว้ในบริเวณน้ำออกจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอนได้ดี ซึ่งจะช่วยป้องกันการหลุดของตะกอนของแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวางท่อดูดตะกอนบริเวณด้านล่างของบ่อ ช่วยรักษาระดับตะกอนภายในบ่อให้เหมาะสมอยู่เสมอ ส่วนการ Recycle ตะกอนจะช่วยให้การผสมผสานตะกอนเข้ากับสารอินทรีย์น้ำเสียได้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดสถานะที่ตะกอนถูกนำออกจากบ่อ MCL มากเกินไป

2.10 กระบวนการผลิตไฟฟ้า

ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยใช้กับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์สันดาปภายในที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าชนิดสเตอร์ลิง เซลล์เชื้อเพลิง รวมไปถึงการใช้ในระบบกังหันก๊าซ เป็นต้น

เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าชนิดสันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) ใช้หลักการทำงานเดียวกับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ก๊าซชีวภาพจะถูกป้อนเข้าสู่กระบอกสูบในเครื่องยนต์ ลูกสูบที่เคลื่อนที่ขึ้นลงเชื่อมต่อเข้ากับเพลาข้อเหวี่ยง พลังงานที่ได้จากการขับเคลื่อนเพลาข้อเหวี่ยงจะส่งต่อไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป นอกจากนี้ในระบบที่มีขนาดใหญ่โอเสียที่ได้เพียงพอที่จะนำไปใช้ผลิตไอน้ำ เพื่อป้อนเข้ากับกังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้าได้อีกครั้งหนึ่ง โดยเรียกกระบวนการผลิตรวมนี้ว่า “ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าความร้อนร่วม (Cogeneration)” เครื่องยนต์

4 จังหวะที่ใช้กับก๊าซชีวภาพได้ เดิมทีเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติแต่ดัดแปลงมาเพื่อให้สามารถใช้งานกับก๊าซชีวภาพได้เป็นเครื่องยนต์ชนิดจุดระเบิดด้วยหัวเทียน (Ignition Spark Plug) ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วงที่ไม่เกิน 34-40% ขนาดของเครื่องยนต์ที่มีอยู่ในตลาดตั้งแต่ 1 kW ถึง 2 MW เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที

ชุดอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้กับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าชนิดเผาไหม้ในกระบอกสูบ ได้แก่

- เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบเป็นเสมือนห้องเผาไหม้ ดังรูปที่ 2.3 แสดงเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ
- ชุดอุปกรณ์ก๊าซ (Gas Train) ก่อนเข้าเครื่องยนต์
- ชุดควบคุมความดันเชื้อเพลิงก๊าซ (Pressure Regulator) เพื่อรักษาความดันของเชื้อเพลิงที่เข้าเครื่องยนต์ให้สม่ำเสมอ
- คาร์บูเรเตอร์ผสมเชื้อเพลิงกับอากาศทำหน้าที่ผสมอากาศกับเชื้อเพลิงให้ทั่วถึงก่อนป้อนเข้าเผาไหม้ในกระบอกสูบ
- ระบบควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เพื่อทำการวัดปริมาณเชื้อเพลิงและคุมอัตราการป้อนอากาศเข้าผสมกับเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่กำหนดโดยวาล์วควบคุมเชื้อเพลิงทำหน้าที่เร่ง/หรือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่เข้าไปผสมกับอากาศที่คาร์บูเรเตอร์หรือที่หัวผสม (Mixer) โดยตัวควบคุมการทำงานของวาล์ว (Actuator) จะรับสัญญาณจากระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งได้รับสัญญาณจาก Sensor ตรวจจับความเร็วรอบมาอีกทอดหนึ่ง



รูปที่ 2.4 เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

เครื่องยนต์ 4 จังหวะที่ใช้กับก๊าซชีวภาพขนาดปานกลางขึ้นไป ($> 500 \text{ kW}$) จะมีระบบอัดส่วนผสมของก๊าซกับอากาศก่อน (Pre-Compression) โดยใช้ Turbocharger แล้วจึงลดอุณหภูมิส่วนผสมลงก่อนเข้ากระบอกสูบช่วยให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยทั่วไปประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะลดลงเมื่อก๊าซชีวภาพมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น แต่เนื่องจากว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้คุณสมบัติการป้องกันน็อก (Anti-Knock) ของก๊าซชีวภาพจะสูงขึ้นด้วย ดังนั้นเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพจึงสามารถเพิ่มอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) ได้สูงขึ้น เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซโพรเพนจากอัตราส่วนการอัด 11 เป็น 12.5 ทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น 1-2% (เทียบกับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดเท่ากับ 11) บ่อยครั้งที่เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพมักจะเผาไหม้ในกระบอกสูบในช่วงการเผาไหม้เจือจาง (Lean-Burn Range) มีค่าอยู่ในช่วง $1.3 < \lambda < 1.6$ (λ หมายถึง อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้งานจริงต่ออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี) ซึ่งมีผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์แม้จะประกอบด้วย Turbocharger แล้ว มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่ำลงมาเล็กน้อย คือมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 33-39% อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์มีแนวโน้มที่จะเกิดการน็อกได้ ถ้าก๊าซชีวภาพมีความแปรปรวนความเข้มข้นของก๊าซมีเทน เพื่อให้เกิดความแน่นอนของการทำงานของเครื่องยนต์ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนจึงไม่ควรต่ำกว่า 45%

2.10.1 ขั้นตอนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ผลพลอยได้จากการบำบัดน้ำเสีย คือ ก๊าซชีวภาพ โดยประกอบไปด้วย ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากนั้นก๊าซชีวภาพถูกดําเนินเข้าสู่ขั้นตอนการลดอุณหภูมิโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับก๊าซชีวภาพ ผ่านเครื่อง Gas Cool Down เพื่อให้อุณหภูมิของก๊าซชีวภาพมีความเหมาะสมกับจุลินทรีย์ภายในถัง Scrubber โดยถังทำปฏิกิริยา (Scrubber) มีหน้าที่กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพ โดยอาศัยฟิล์มจุลชีพที่เกาะผิวดังกล่าวที่ถูกพรมน้ำให้มีความชื้นสม่ำเสมอ เมื่อเดินระบบไประยะหนึ่งจะเกิดฟิล์มจุลชีพขึ้น ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศในการดำรงชีพ เมื่อจุลินทรีย์ชนิดนี้ใช้ซัลเฟอร์ที่อยู่ในก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะปล่อยซัลเฟอร์ที่เป็นธาตุอิสระออกมา ซึ่งเกาะติดที่ Media หรือตะตะกอนอยู่กันถึงปฏิกิริยา หลังจากนั้นจะมีน้ำหมุนเวียน (Circulation) เพื่อเป็นน้ำหมุนเวียนของถังปฏิกิริยาในระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซชีวภาพจะเข้าเคลื่อนที่ผ่านไซโคลนดักน้ำ เพื่อทำการดักความชื้นของก๊าซชีวภาพที่ออกมาจากถังปฏิกิริยา เคลื่อนตัวผ่าน Gas Dryer ซึ่งมีหน้าที่กำจัดความชื้นออกจากก๊าซชีวภาพ โดยใช้การแลกเปลี่ยนความชื้นระหว่างก๊าซชีวภาพกับน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ (น้ำเย็น) เพื่อลดอุณหภูมิของก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำและแยกออกจากก๊าซชีวภาพ เป็นการลดความชื้นในก๊าซชีวภาพไม่ให้เกินข้อกำหนดของผู้ผลิต

เครื่องผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะมี Heat Exchanger มีหน้าที่กำจัดความชื้นออกจากก๊าซชีวภาพด้วย Demister เมื่อก๊าซชีวภาพปะทะกับ Demister แรงปะทะจะทำให้ไอน้ำที่ผสมอยู่ในก๊าซชีวภาพนั้นกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและแยกออกจากก๊าซชีวภาพ และ Chiller มีหน้าที่ทำความเย็นส่งไปยัง Heat Exchanger เพื่อแยกน้ำออกจากก๊าซชีวภาพ (ความชื้น) โดยอาศัยการควบแน่นระหว่างความเย็นกับก๊าซชีวภาพ ส่วนที่แยกออกมาเปลี่ยนรูปเป็นหยดน้ำเช่นกัน และยังสามารถลดอุณหภูมิในเส้นท่อทำให้อุณหภูมิก๊าซชีวภาพลดลงอีกด้วย หลังจากนั้นก๊าซชีวภาพจะผ่านเครื่อง Gas Analyzer เพื่อทำการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบ	ความเข้มข้น (v/v)
CH ₄	50-70%
CO ₂	20-50%
H ₂ O (Vapor)	0-10%
N ₂	0-5%
O ₂	0-2%
NH ₃	0-1%
H ₂ S	50-10,000 ppm

การวัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจะทำการขาคอกจากระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Scrubber) ก๊าซชีวภาพเคลื่อนตัวผ่านเครื่องกรองก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่กรองฝุ่นออกจากก๊าซชีวภาพให้สะอาดขึ้นก่อนเข้า Generator เพื่อลดการชำรุดของเครื่อง หลังจากนั้นก๊าซชีวภาพเคลื่อนเข้าสู่เครื่องผลิตไฟฟ้า (Gas Engine) โดยทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าตามข้อกำหนดของเครื่องโดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

2.10.2 ขั้นตอนการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รับก๊าซชีวภาพเข้าสู่ระบบจ่ายก๊าซชีวภาพ โดยมีการผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วส่งก๊าซชีวภาพเข้าไปในเครื่องยนต์ที่ห้องเผาไหม้ ดังตารางที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อรอการติดเครื่องซึ่งใช้แบตเตอรี่ในการจุดติดเครื่องเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ ก๊าซชีวภาพที่อยู่ภายในห้องเผาไหม้จะเกิดการจุดระเบิดขึ้น ทำให้เกิดการขับเคลื่อนของลูกสูบจึงส่งผลทำให้เกิดความร้อนของเสื้อสูบและกระบอกสูบน้ำจะถูกส่งไปแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยหม้อน้ำ (Radiator) ที่อยู่ด้านบนอาคารโรงไฟฟ้า เมื่อเครื่องยนต์

ทำงานจะขับเคลื่อนเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กเป็นไฟฟ้า จากนั้นจะส่งไฟฟ้าเข้ามาที่ตู้ Control GCB เพื่อปรับค่าควบคุมแรงดันก่อนส่งจ่ายไฟฟ้า มีระบบ PLC เป็นตัวที่แสดงผลการทำงาน มีการส่งจ่ายไปหม้อแปลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ละเครื่องส่งแรงดันที่เหมาะสมตามต้องการของไฟฟ้า ออกมาเข้าที่ตู้ Control Feeder Gen แต่ละเครื่องไฟฟ้าที่ออกมาจากตู้ Control Feeder Gen ไฟฟ้าจะเข้ามารวมกันที่ตู้ Control PEA Feeder ของการไฟฟ้าและส่งจ่ายผ่านมิเตอร์ซื้อ-ขาย ให้กับลูกค้า

ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Biogas, Sewer Gas)

Component	Min	Typical	Max
Methane (CH ₄) [%]	45	55	70
Carbon Dioxide (CO ₂) [%]	20	40	55
Oxygen (O ₂) [%]	0.01	0.3	2
Nitrogen (N ₂) [%]	0.01	4.7	10
Methane Number	125	130	150
Lower Heating Value	4.5	5.5	7.0

2.10.3 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า MTU 20V4000L32F จะเหมือนกับเครื่องยนต์ทั่วไป มีองค์ประกอบเพื่อให้เครื่องยนต์สามารถเดินเครื่องได้ ได้แก่ อากาศ เชื้อเพลิง เครื่องยนต์ ชุดควบคุมเครื่องยนต์ รวมไปถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ในตัวและนอกตัวเครื่อง

ระบบจุดระเบิด ของเครื่องยนต์ทำหน้าที่จุดประกายไฟให้แก่ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ในแต่ละลูกสูบในเวลาที่เหมาะสมและถูกต้องตามลำดับของแต่ละมาตรฐานเครื่องยนต์นั้น ๆ อุปกรณ์ต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ที่ทำหน้าที่ในการจุดระเบิดมีดังนี้

1. Ignition Box กล่องจุดระเบิดทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับคอยล์จุดระเบิดตามลำดับการจุดระเบิดที่ระบบควบคุมตามมาตรฐานเครื่องยนต์
2. Ignition Coil ทำหน้าที่รับไฟจากกล่องจุดระเบิด Ignition Box เพื่อสร้างไฟฟ้าค่าความต่างศักย์สูงและจ่ายให้กับหัวเทียน Spark plug ตามลำดับการจุดระเบิดที่ ECU ของมาตรฐานเครื่องยนต์นั้น ๆ กำหนดมาจากผู้ผลิต โดยแต่ละห้องเผาไหม้จะมี Ignition Coil หนึ่งตัว (1 Coil/1 Cylinder)

3. สายหัวเทียน Ignition Cable ทำหน้าที่นำไฟแรงสูงจาก Ignition Coil ไปสู่หัวเทียน เพื่อจุดระเบิดในห้องเผาไหม้ในลำดับต่อไป
4. หัวเทียน (Spark Plug) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่องยนต์ ซึ่งติดตั้งอยู่แต่ละกระบอกสูบ มีหน้าที่จุดระเบิดประกายไฟภายในห้องเผาไหม้ตามลำดับการจุดระเบิดเพื่อเริ่มการเผาไหม้เชื้อเพลิงและให้กำลังแก่เครื่องยนต์และชิ้นส่วนต่าง ๆ
5. Exhaust Temperature Cylinder เป็นตัววัดอุณหภูมิไอเสียออกจากกระบอกสูบของแต่ละฝาสูบเพื่อแสดงสภาวะการทำงานของกระบอกสูบแต่ละสูบ
6. Camshaft Signal (AKR 3) เป็นตัววัดตำแหน่งของเพลาลูกเบี้ยวและส่งสัญญาณให้กับชุดควบคุม Knocking Control เพื่อเป็นสัญญาณร่วมกับการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ (การจุดระเบิดล่วงหน้า-ล่าช้า)
7. Camshaft Signal เป็นตัววัดตำแหน่งของเพลาลูกเบี้ยว และส่งสัญญาณให้กับกล่องจุดระเบิด เพื่อใช้เป็นประกอบสัญญาณการจุดระเบิดของเครื่องยนต์
8. Camshaft Signal (ECU 9) เป็นตัววัดตำแหน่งของเพลาลูกเบี้ยวและส่งสัญญาณให้กับ ECU เพื่อประเมินผลการทำงานของเครื่องยนต์
9. Mixture Pressure After Throttle เป็นตัววัดแรงดันของเชื้อเพลิง-อากาศหลัง Charge Air Cooler และหลังออกจากลิ้นปีกผีเสื้อเพื่อให้เครื่องยนต์สามารถควบคุมแรงดันของเชื้อเพลิง-อากาศหลังออกจาก Charge Air Cooler ได้ตามโหลดของเครื่องยนต์ที่สภาวะต่างๆ
10. Mixture Pressure Before Throttle เป็นตัววัดแรงดันของเชื้อเพลิง-อากาศหลัง Charge air cooler ก่อนเข้าลิ้นปีกผีเสื้อเพื่อให้เครื่องยนต์สามารถควบคุมแรงดันของเชื้อเพลิง-อากาศหลังออกจาก Charge Air Cooler ได้ตามโหลดของเครื่องยนต์ที่สภาวะต่างๆ
11. Anti-Knocking Regulation (AKR) ทำหน้าที่ตรวจจับการสันสะท้อนติดตั้งอยู่ของแต่ละกระบอกสูบ เพื่อตรวจจับการสันสะท้อนของกระบอกสูบนั้น ๆ ซึ่งหากว่ากระบอกสูบมีการสันสะท้อนเกินค่าที่ตั้งไว้แล้ว เนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ของเครื่องยนต์จะลดกำลัง และหยุดเดินเครื่องเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

2.10.4 ระบบหล่อเย็นเครื่องยนต์ (Cooling Systems)

- HT Circuit เป็นส่วนของการระบายความร้อนออกจากตัวเครื่องยนต์เป็นหลัก ได้แก่ ความร้อนจากการเผาไหม้ (Engine) ความร้อนจากน้ำมันเครื่อง (Oil Cooler)
- LT Circuit เป็นส่วนของการระบายความร้อนออกจากส่วนผสมเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่การเผาไหม้ (Inter Cooler) เพียงอย่างเดียว

โดยในระบบหล่อเย็นจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่ง HT/LT Circuit จะมี ส่วนประกอบที่เหมือนกัน มีรายละเอียดดังนี้

- HT Circuit ระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ เช่น ความร้อนจากกระบอกสูบ ฝาสูบ น้ำมันเครื่อง โดยมีท่อน้ำเข้า-น้ำออก จากเครื่องยนต์ และเซ็นต์เซอร์วัดความร้อน เป็นต้น
- LT Circuit ระบบระบายความร้อนจาก Charge air cooler เป็นระบบระบายความร้อนของ Mixture ซึ่งส่วนผสมของ Gas-Air หลังจากที่ผ่านมา Turbo Charge มาแล้ว ซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงมาก ($100-200^{\circ}\text{C}$) ซึ่งต้องระบายความร้อนออกโดย Inert Cooler โดยมีน้ำ LT Circuit ที่ไหลเวียนระบายความร้อน ซึ่ง LT Circuit จะระบายความร้อน เฉพาะ Inert Cooler เท่านั้น โดยควบคุมน้ำเข้า (LT) ที่ 53°C

อุปกรณ์ในระบบหล่อเย็นมีดังนี้

1. Water Pump (Jacket & Intercooler) ทำหน้าที่ในการรับส่งน้ำ เพื่อคอยหล่อเลี้ยงและรับความร้อนจากเครื่องยนต์ ไประบายทิ้งที่ Radiator พร้อมทั้งกลับเข้ามาเครื่องยนต์อีกครั้ง
2. ถังรักษาแรงดันภายในระบบ (Explanation Tank) ทำหน้าที่รักษาแรงดันของน้ำหล่อเย็นภายในระบบหล่อเย็นทั้งในระบบ LT & HT Circuit (ติดตั้งด้านสุดของแต่ละตัวของปั๊ม) ซึ่งระหว่างที่เครื่องยนต์ทำงานอุณหภูมิของน้ำจะสูงขึ้นและขยายตัวออก ดังนั้นถังรักษาแรงดันทำหน้าที่รักษาแรงดันที่เพิ่มขึ้นและคลายแรงดันคืนให้กับระบบเมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลง (หยุดเดินเครื่อง) ดังนั้นในน้ำระบบหล่อเย็นจึงไม่หายไปจากระบบกรณีที่เดินเครื่องปกติ
3. Thermostat (3-Way Value) ทำหน้าที่ควบคุมน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องให้มีความเท่ากับค่าที่เครื่องยนต์ต้องการ ซึ่งมีทั้งใน HT Circuit & LT Circuit โดยค่าที่ต้องการกำหนดด้วย TEM EVO ($\text{HT} = 78^{\circ}\text{C}/\text{LT} = 53^{\circ}\text{C}$) หลักการทำงานของ 3-Way Value คือ หากน้ำเข้าเครื่องยนต์ยังไม่ถึงค่าที่ต้องการ Value จะปิดทางน้ำไป radiator แต่ น้ำจะไหลวนกลับเข้าเครื่องจนกว่าน้ำจะร้อน แต่ในทางตรงกันข้ามหากน้ำเข้าเครื่องยนต์ร้อนเกินค่าที่ต้องการ Value จะเปิดน้ำบางส่วนไประบายความร้อนที่ Radiator และวนกลับมาผสมกันที่ 3-Way Value เพื่อให้ได้ค่าตามที่เครื่องตั้งไว้ของทางน้ำเข้าเครื่องยนต์แต่ละระบบ
4. Radiator Jacket Water & Inter Cooler เป็นตัวระบายความร้อนออกจากน้ำทั้งระบบ HT/LT โดยอาศัยพัดลมดูดลงมาผ่านท่อและครีบบภายใน Radiator เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนจากเครื่องยนต์และอากาศภายนอก

5. Monitoring Unit เป็นชุดที่ตรวจระดับน้ำหล่อเย็นและระบายอากาศออกจากในระบบหล่อเย็น โดยจะติดตั้งอยู่ทางด้านน้ำเข้า Radiator ซึ่งมีส่วนประกอบและหน้าที่การทำงานดังนี้

- Water Level Sensor ทำหน้าที่ตรวจจับระดับน้ำหล่อเย็นในท่อน้ำโดยที่ภายในจะเป็นลูกลอยคอยตรวจรับระดับน้ำตลอดเวลา หากตรวจเจอว่าระดับน้ำหยาเกินเครื่องจะหยุดเดินทันที
- Auto Air Vent ทำหน้าที่ระบายอากาศที่มีอยู่ภายในท่อน้ำออกจากระบบเพื่อให้ น้ำหล่อเย็นสามารถระบายความร้อนออกจากเครื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- Safety Value ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันน้ำภายในท่อสูงเกินกว่าค่าความปลอดภัยซึ่งจะเริ่มระบายน้ำออกที่ 6 บาร์ ทั้งระบบ HT/LT ในกรณีที่แรงดันในระบบหล่อเย็นสูงขึ้นจากกรณีต่าง ๆ

6. Heater (ชุดอุ่นน้ำก่อนเข้าเครื่องยนต์) ติดตั้งอยู่ในระบบ HT Circuit ทำหน้าที่ในการอุ่นเครื่องยนต์ให้น้ำภายในเครื่องยนต์มีความร้อนไม่ต่ำกว่า 45-50°C หรือค่าที่ทางผู้ผลิตกำหนดไว้ เพื่อให้เครื่องยนต์สามารถสตาร์ทได้ง่ายในการสตาร์ทเครื่องยนต์ ในครั้งต่อไปหรือเริ่มต้นใหม่

7. จุดวัดอุณหภูมิและแรงดันน้ำของระบบหล่อเย็น (HT Circuit) ในระบบหล่อเย็นของเครื่องยนต์จะมี Sensor วัดอุณหภูมิ น้ำเข้าและออกจากเครื่องยนต์

2.10.5 ระบบน้ำหล่อลื่นของเครื่องยนต์ (Lubricating Systems)

ระบบหล่อลื่นเป็นส่วนที่สำคัญต่อเครื่องยนต์โดยจะป้องกันการสึกหรอของเครื่องยนต์ รวมไปถึงการดึงความร้อนออกจากชิ้นส่วนต่างๆที่เคลื่อนไหว ดังนั้นระบบหล่อลื่นจึงมีความสำคัญมาก จึงต้องทำความเข้าใจในการทำงานและการดูแลรักษาเพื่อให้เครื่องยนต์มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. วงจรการทำงานของระบบน้ำมันภายในเครื่องยนต์

- Exhaust Turbocharge (Two exhaust turbocharges on the 20V engine)
- Engine Oil Heat Exchanger
- Oil Pressure Measuring Point Upstream on Engine Oil Filter
- Oil Sampling
- Engine Oil Filter
- Bypass Valve of Engine Oil Filter (Only 12V and 16V)
- Connection, engine oil pressure sensor downstream of filter

- Connection, engine oil temperature sensor downstream of oil heat exchanger
- Drain Plug on Oil Pan
- Connection, supply for automatic oil replenishment
- Oil Suction Basket
- Engine Oil Pump
- Connection, Priming inlet
- Engine Oil Pump Pressure Relief Valve
- Pressure Limiting Valve Before Engine
- Vibration Damper (16V and 20V only)
- Crankshaft Support Bearing, Free End
- Conrod Bearing
- Crankshaft Main Bearing
- Crankshaft Thrust Bearing
- Oil Pan
- Crank Shaft Support Bearing, Driving End
- Crankshaft Bearings
- Main Oil Gallery
- Cylinder Head
- Spray Nozzles for Piston Cooling

2. Oil cooler ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำ-น้ำมันเครื่อง พร้อมทั้งยังปรับแรงดันน้ำมันเครื่องเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานของเครื่องยนต์นั้นๆอีกด้วย

3. กรองน้ำมันเครื่อง (Oil Filter) ทำหน้าที่กรองเศษสิ่งสกปรกของน้ำมันเครื่องก่อนเข้าไปหล่อเลี้ยงส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ โดยแบ่งเป็น กรองน้ำมันเครื่องชนิดหลัก ทำหน้าที่กรองน้ำมันเครื่องจาก Engine oil pump ก่อนที่จะจ่ายให้ชิ้นส่วนต่างๆเครื่องยนต์

4. Oil Level Sensor ทำหน้าที่ตรวจเช็คระดับน้ำมันภายในอ่างน้ำมันเครื่องยนต์ เพื่อหากระดับน้ำมันเครื่องยนต์

- สูงเกิน เครื่องสั่งหยุดเดินเครื่องเอง (Fault)
- ต่ำกว่าระดับปกติ เครื่องสั่งหยุดเดินเครื่องเอง (Fault)
- ต่ำ ระบบจะสั่งเติมน้ำมันเครื่องจาก Storage Tank

ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องสามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง ซึ่งจำเป็นต้องมีส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น Cable Set Plug, Connection Line to Lubricating Oil Pan, Lube Oil Sump, Lube Oil Level Sensor เป็นต้น

5. Pre-lube Oil Pump เป็นปั๊มน้ำมันเครื่องไฟฟ้าทำงานระบบอัตโนมัติปกติแล้ว Pre-Lube ทำงานก่อนสตาร์ทเครื่องยนต์และหลังจากดับเครื่องยนต์ตามเวลาที่ตั้งค่าเอาไว้ หน้าที่หลักทำหน้าที่ส่งน้ำมันเครื่องไปเลี้ยงส่วนต่างๆก่อนที่จะสตาร์ทเครื่องเนื่องจาก Internal Pump ยังไม่ทำงาน ดังนั้นเพื่อลดการสึกหรอของเครื่องยนต์จึงจำเป็นต้องเดิน Pre-Lube Oil Pump ก่อน นอกจากนี้ยังไม่รวมไปถึงตอนที่หยุดเดินเครื่องก็ทำงานเช่นกันเพื่อนำมันไปเลี้ยงแกน Turbo Charge และส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์เพื่อลดความร้อนจากตัวชิ้นส่วน

6. Solenoid Value ทำหน้าที่เปิดน้ำมันเครื่อง (จากถังสำรอง) เข้ามาเติมในเครื่องยนต์ในกรณีที่ oil level ตรวจจับระดับน้ำมันเครื่องต่ำกว่าค่าที่กำหนดซึ่ง Oil Level Sensor ส่งสัญญาณไปที่ระบบควบคุมและมีคำสั่งเปิด Solenoid Value น้ำมันเครื่องเข้าเครื่องยนต์จนกว่าระดับน้ำมันเครื่องสูงถึงค่าที่กำหนดระบบสั่งหยุด Solenoid value

7. Re-Circuit Value เป็นวาล์วที่ทำหน้าที่ปล่อยน้ำมันเครื่องจากเครื่องยนต์ขณะที่ปั๊มน้ำมันเครื่องทำงานวนกลับไปถังน้ำมันสำรอง ดังนั้นระดับน้ำมันในเครื่องยนต์มีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งระบบจะดูดเข้าน้ำมันเครื่องภายในเครื่องยนต์โดยการเติมน้ำมัน Solenoid Value ดังนั้นน้ำมันในระบบมีการไหลเวียนระหว่างเครื่องยนต์และถังน้ำมันสำรองตลอดเวลาช่วยให้ น้ำมันเครื่องมีอายุการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น

8. Storage Tank เป็นส่วนของถังน้ำมันสำรองสำหรับเติมเครื่องยนต์โดยอัตโนมัติ โดยปกติระหว่างที่เดินเครื่องยนต์ต้องรักษาระดับน้ำมันเครื่องไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 50% ของถัง

9. กรองดักไอน้ำมันเครื่อง (Crankcase Breather) ทำหน้าที่เป็นส่วนกรองไอน้ำมันจากภายในเครื่องยนต์ (Crankcase) ในห้องเครื่องยนต์ประกอบไปด้วย ไอของน้ำมันเครื่อง และแก๊สที่มาจากห้องเผาไหม้ ซึ่งแก๊สและไอน้ำนี้จะถูกเทอร์โบชาร์ทเจอร์ดูดผ่าน Filter Crankcase โดยไอที่สามารถเข้าเครื่องยนต์ได้จะเป็นไอแห้งเท่านั้น มีประโยชน์คือช่วยลดการสึกหรอในส่วนของฝาสูบและห้องเผาไหม้

10. อุปกรณ์การวัดค่าต่างๆ ประกอบไปด้วย

- Housing Oil Filter ในชุดกรองน้ำมันเครื่องมี Sensor ที่ใช้วัดค่าต่าง ๆ ของน้ำมันเข้า-ออก จากกรองน้ำมันเครื่อง

- Crankcase Breather Pressure ในห้องเครื่องยนต์มี Sensor ที่ใช้วัดค่าแรงดันภายในเครื่องยนต์ (Pressure Crankcase) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์

2.10.6 ระบบอากาศและเชื้อเพลิง

1. Air filter (กรองอากาศเครื่องยนต์) ทำหน้าที่กรองอากาศที่เครื่องยนต์ดูดเข้าไปใช้ในการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ให้สะอาดก่อนเข้าสู่เครื่องยนต์ เพื่อป้องกันเครื่องยนต์ชำรุดและเสียหายก่อนเวลาอันสมควร บนท่อดูดอากาศของกรองอากาศมีเซ็นเซอร์ตรวจจับแรงดันและอุณหภูมิเพื่อตรวจสอบสภาพของกรองอากาศและประเมินการทำงานขณะที่เครื่องยนต์จ่ายโหลดด้วย

2. Gas Train Unit (ระบบจ่ายแก๊สเข้าเครื่องยนต์) ทำหน้าที่ปรับแรงดันกรองสิ่งสกปรก ตรวจเช็คแรงดันและอุณหภูมิของแก๊สก่อนเข้าเครื่องยนต์เพื่อให้เครื่องยนต์สามารถเดินเครื่องได้และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งประกอบไปด้วย

- Gas filter ทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกที่มากับแก๊สเพื่อป้องกันอุปกรณ์ภายในเครื่องยนต์

- Double Solenoid Value ทำหน้าที่เปิดและปิดแก๊สเข้าเครื่องยนต์ซึ่งภายในมีระบบตรวจเช็คการรั่วไหลของวาล์ว ก่อนที่มีการสตาร์ทเครื่องยนต์ทุกครั้ง

- Flame Arrester ทำหน้าที่ป้องกันไฟย้อนกลับในท่อแก๊ส โดยภายในระบบของตัวอุปกรณ์มีตัวเช็คอุณหภูมิ หากอุณหภูมิเกิน 60° C ระบบควบคุมเครื่องยนต์จะสั่งหยุดเดินทันที

- Pressure Regulator ทำหน้าที่ปรับแรงดันแก๊สจากแหล่งจ่ายให้มีแรงดันลดลงเพื่อให้เหมาะสมกับการเดินเครื่องยนต์

3. ระบบผสมอากาศ-แก๊ส สำหรับเครื่องยนต์ (Mixer) ซึ่งประกอบด้วย

- Gas-air mixer and TECJET ทำหน้าที่ผสมอากาศและแก๊สเข้าเครื่องยนต์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการจุดระเบิดในแต่ละห้องเผาไหม้

- เทอร์โบชาร์จเจอร์ (Turbo Charging) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งเข้ากับเครื่องยนต์ ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันของ Mixture เข้าห้องเผาไหม้ซึ่งให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ออกมาดี หลักการทำงานของเทอร์โบชาร์จเจอร์ คือ อาศัยแรงขับไอเสียออกมาจากห้องเผาไหม้เพื่อขับใบพัดฝั่งไอเสียและทำให้ใบพัดฝั่งไอเสียดูดอัด Mixture เข้าสู่เครื่องยนต์

- By Pass Mixture ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไอดี (Mixture) ที่ออกมาจาก Inter Cooler ให้มีแรงดันที่พอเหมาะกับการเดินเครื่องยนต์ตามที่ระบบควบคุมได้กำหนดไว้แล้ว

- Throttle Value (คันเร่งเครื่องยนต์) ปีกผีเสื้อ ทำหน้าที่เปิด-ปิด เชื้อเพลิงเข้าเครื่องยนต์
- Charge Air Cooler เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งเข้ากับเครื่องยนต์เพื่อระบายความร้อนของ Mixture เป็นส่วนผสมของ Gas-Air หลังจากที่ผ่านมา Turbo Charge มาแล้วมีอุณหภูมิที่สูงจำเป็นต้องระบายความร้อนออกโดยอาศัยน้ำ HT/LT Circuit เข้ามาดึงความร้อนออกจากเชื้อเพลิงก่อนที่เชื้อเพลิงถูกส่งไปยังห้องเผาไหม้แต่ละสูบ

2.10.7 ระบบไอเสีย (Exhaust Gas System)

ระบบไอเสียเป็นระบบที่ทำหน้าที่ลำเลียงไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของห้องเผาไหม้แต่ละห้องเผาไหม้ออกจากเครื่องยนต์ มีส่วนประกอบและชิ้นส่วนดังนี้

- Exhaust Gas Bellow คือ ท่ออ่อนไอเสียทำหน้าที่ส่งถ่ายแก๊สไอเสียออกจากเครื่องยนต์ท่อนี้สามารถให้ตัวได้ขณะที่เครื่องยนต์มีการสั่นสะเทือนและการขยายตัวของท่อไอเสียจากภายนอกห้องเครื่องยนต์

- Sensor วัดอุณหภูมิไอเสียออกจากเครื่องยนต์

ระบบสตาร์ท (Starting System) ประกอบด้วย

- มอเตอร์สตาร์ท (Starter) เป็นมอเตอร์ใช้สำหรับหมุนเครื่อง เพื่อสตาร์ทเครื่องยนต์ โดยปกติ มอเตอร์สามารถหมุนเครื่องยนต์ได้ที่ 110-150 RPM หากมอเตอร์ไม่สามารถหมุนเครื่องยนต์ได้ไม่ถึงค่าที่ควรจะเป็นอาจทำให้เครื่องยนต์ไม่สามารถสตาร์ทติดได้ ดังนั้นการดูแลมอเตอร์สตาร์ทและแบตเตอรี่จึงมีความสำคัญ

- แบตเตอรี่สำหรับมอเตอร์สตาร์ทเครื่องยนต์ (Charger & Battery) ได้แก่

Charger คือ ส่วนที่ชาร์จไฟฟ้า 24VDC ให้กับแบตเตอรี่สำหรับสตาร์ทเครื่องยนต์ โดยจะทำงานตลอดเวลา เมื่อแบตเตอรี่เต็มจะหยุดชาร์จเองโดยอัตโนมัติ

Battery คือ ตัวจ่ายไฟกระแสตรง 24VDC ให้กับมอเตอร์สตาร์ท เพื่อหมุนเครื่องยนต์เมื่อมีคำสั่งสตาร์ท การดูแล คือให้ตรวจเช็คระดับน้ำกรดในแบตเตอรี่ หากพบว่าพร่องให้เติมโดยเร็วซึ่งเกี่ยวกับอายุการใช้งาน

2.11 พลังงานทดแทน

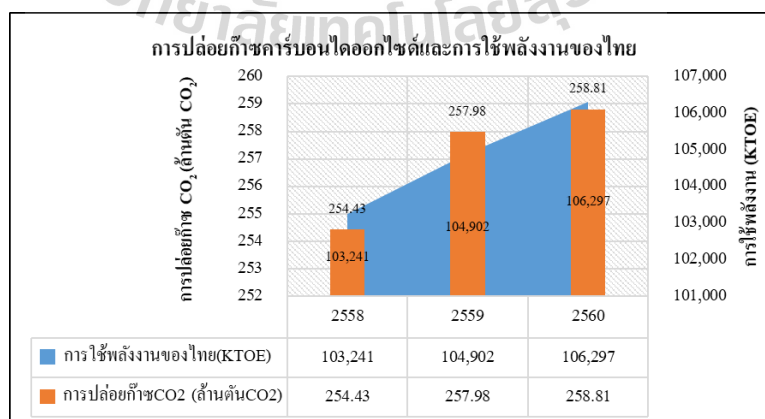
พลังงานทดแทน คือ พลังงานที่ใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิล ซึ่งปัจจุบันมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ประเทศไทยจึงหันมาใช้พลังงานทดแทนเช่น พลังงานลม, พลังงานน้ำ, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง, พลังงานคลื่น, พลังงานความร้อนใต้พิภพ และเชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งจากสรุปสถานการณ์พลังงานของ

ประเทศไทย มกราคม-เมษายน พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในช่วง 4 เดือนแรกของปี พ.ศ. 2561 มีปริมาณ 28,853 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 8.0 คิดเป็นมูลค่ากว่า 431,784 ล้านบาท ข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย เดือนมกราคม-เมษายน 2561)

จากการศึกษาข้อมูลสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน เรื่องการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้พลังงาน ปี พ.ศ. 2560 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการใช้พลังงานของทั้งประเทศไม่สูงมาก ด้วยการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น แต่สถานการณ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกือบทุกภาคเศรษฐกิจยังคงเพิ่มจากปีก่อน ทั้งภาคอุตสาหกรรม ขนส่ง และเศรษฐกิจอื่น ๆ ในขณะที่ภาคการผลิตไฟฟ้าปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง แต่ยังคงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าภาคการผลิตอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับต่างประเทศ ในปี พ.ศ. 2560 พบว่าประเทศไทยมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการใช้และต่อหัวประชากรต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของโลก ในขณะที่อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตไฟฟ้า (kWh) และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อ GDP สูงกว่าค่าเฉลี่ยของโลก

2.12 ภาพรวมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการใช้พลังงานของประเทศ

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.5 เมื่อเทียบกับปีก่อนพบว่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.3 ส่วนการใช้พลังงานของประเทศเพิ่มขึ้นจาก 104,902 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (KTOE) ในปี พ.ศ. 2559 เป็น 106,297 KTOE ในปี 2560 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.3



รูปที่ 2.5 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการใช้พลังงานของไทย

ภาคการผลิตไฟฟ้า การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปี พ.ศ. 2560 เทียบกับปีก่อนลดลงร้อยละ 3.7 ดังตารางที่ 2.5 โดยเชื้อเพลิงสำคัญที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคนี้ ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน/ลิกไนต์ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 38 ของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด ปี พ.ศ. 2560 ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน/ลิกไนต์ น้ำมันเตาในการผลิตไฟฟ้าลดลง ส่งผลให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอีกด้วย ในปี พ.ศ. 2560 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ระดับ 57.8 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจากปีก่อนร้อยละ 2.9 เนื่องจากเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 เกิดเหตุขัดข้องในระบบส่งจ่ายก๊าซธรรมชาติจากแหล่งพัฒนาร่วมไทย-มาเลเซีย (JDA-A18) ส่งผลให้โรงไฟฟ้าจะนะชุดที่ 2 ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงจึงต้องหยุดเดินเครื่อง เช่นเดียวกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากถ่านหิน/ลิกไนต์ อยู่ที่ระดับ 36.6 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ ลดลงจากปีก่อนร้อยละ 4.9 เนื่องจากโรงไฟฟ้าเถลไถวันเป็นโรงไฟฟ้าถ่านหินหยุดซ่อมบำรุงในเดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการใช้น้ำมันสำเร็จรูปในการผลิตไฟฟ้ามีปริมาณเพียงเล็กน้อยที่ระดับ 1.1 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ ลดลงร้อยละ 6.3

ตารางที่ 2.6 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการผลิตไฟฟ้า

ชนิด					การเปลี่ยนแปลง (%)		
	2558	2559	2560	สัดส่วน (%) 2560	2558	2559	2560
น้ำมันสำเร็จรูป	1.0	1.2	1.1	1	-1.2	10.1	-6.3
ถ่านหิน/ลิกไนต์	36.1	38.5	36.6	38	-9.2	6.7	-4.9
ก๊าซธรรมชาติ	60.8	59.5	57.8	61	4.3	-2.0	-2.9
รวม	97.9	99.2	95.5	100	-1.2	1.3	-3.7

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธารินี บัวดิษฐ์ (2555) ศึกษาการเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำแบบ Oxidation Pond และ Extended Aeration Activated Sludge ของมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา โดยทำการเปรียบเทียบ 2 ระบบคือ แบบ Oxidation Pond และ Extended Aeration Activated Sludge ด้วยวิธีการคำนวณตามแนวทางของกลไกการพัฒนาที่สะอาด

เทียบกับวิธีคำนวณตามแนวทางของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร และยังทำการศึกษาถึงศักยภาพในการเกิดก๊าซชีวภาพของน้ำเสียดังกล่าว เพื่อคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดลงได้ เมื่อมีการประยุกต์ใช้ระบบก๊าซชีวภาพด้วย ผลการคำนวณระบบแบบ Oxidation Pond ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าระบบ Extended Aeration Activated Sludge และส่วนการเปรียบเทียบวิธีการคำนวณพบว่า วิธีการตามแนวทางคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรอ้างอิงจาก IPCC (2006) Guidelines ให้ผลการคำนวณก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่าวิธี CDM เมื่อมหาลัยเริ่มใช้งานระบบบำบัดน้ำเสียใหม่ แบบ Extended Aeration Activated Sludge จะก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกปริมาณที่ลดลง เนื่องจากค่า Methana Correction Factor (MCF) ของระบบน้อยกว่าค่าของระบบ Oxidation Pond สำหรับระบบ Oxidation Pond สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในการผลิตก๊าซมีเทน เพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือก

พริดา เทพประสิทธิ์ (2551) ได้ศึกษาการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าชีวมวล มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) จากโรงไฟฟ้าชีวมวล เพื่อศึกษามูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการขายใบรับรองการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Certified Emission Reductions) ที่สร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้ลงทุนต่อผลตอบแทนจากการขายใบรับรองการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในการประเมินรายได้ส่วนเพิ่มของการลงทุน จากผลการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) โรงไฟฟ้าชีวมวล กำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 20 เมกะวัตต์ มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) ปีละ 3,084 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี และมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดอายุโครงการ 21,599 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี ผลการศึกษามูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์รายได้ส่วนเพิ่มสุทธิต่อหน่วยจากการขายใบรับรองการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Certified Emission Reductions) ผลตอบแทนที่เกิดขึ้นได้ปีละ 791,080 บาท ตลอดอายุโครงการทำให้ผู้ลงทุนมีความมั่นใจว่าจะได้รับผลตอบแทนจากการขายใบรับรองการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เข้ามาเป็นรายได้ส่วนเพิ่มของโครงการ

ยุทธพงศ์ พันธุ์มณี และคณะ (2556) ได้ศึกษาประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการขนส่งทางบก กรณีศึกษาคือ สหกรณ์บริการเดินรถโดยสารจังหวัดแพร่ จำกัด ใช้วิธีการคำนวณและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปฏิบัติตามบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติ ปี ค.ศ. 2006 สหกรณ์เดินรถโดยสารมีการแบ่งเป็น 8 เส้นทาง มีรถโดยสาร 125 คัน ทั้งหมดเป็นรถยนต์โดยสารขนาดเล็ก ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว ผลการศึกษพบว่า ในปี

ค.ศ. 2011 (พ.ศ. 2554) สหกรณ์เดินรถยนต์โดยสารจังหวัดแพร่ จำกัด มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าเท่ากับ 1,488.73 ตัน เส้นทางแพร่-สอย และเส้นทางที่มีการปล่อยต่ำสุดคือ เส้นทางแพร่-เซตวัน มีปริมาณการปล่อยเท่ากับ 506.14 และ 13.20 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ

ศุรเชษฐ์ กล้าณรงค์ และคณะ (2560) ได้ศึกษาและวิเคราะห์การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ถูกปลดปล่อยในการผลิตไฟฟ้ามีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 1.128 เมกะวัตต์ ด้วยเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพจากระบบแบบถังปฏิกรณ์แบบตะกอนลอย (Upflow Anaerobic Sludge Blanket:UASB) ปริมาตรถึงรวม 14,000 ลูกบาศก์เมตร โดยศึกษาใน 4 ขั้นตอนหลักคือ บ่อปรับอัตราการไหล/บ่อตกตะกอนขั้นต้น บ่อหมักกรด ถังหมักแบบไร้อากาศ และเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยจัดเก็บข้อมูลการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากร พลังงาน และสารเคมีต่างๆที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการปลดปล่อยมลพิษและของเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยมีขอบเขตในการศึกษาแบบ Cradle to Gate (B2B) เริ่มต้นจากกระบวนการปรับอัตราการไหลและการตกตะกอนขั้นต้น การหมักกรด การหมักแบบไร้อากาศและสิ้นสุดที่การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ งานวิจัยนี้ได้ใช้ผลิตภัณฑ์เป็นการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเป็นกรณีศึกษา โดยกำหนดพิจารณาหน่วยของการวิจัยการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่าจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ 0.544 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง กระบวนการที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือ กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ มีค่าการปลดปล่อยสูงที่สุดโดยมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 0.439 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าคิดเป็น 80.71% ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ ลำดับถัดมาคือกระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น, กระบวนการผลิตไฟฟ้าและกระบวนการหมักกรดซึ่งมีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 0.068, 0.037 และ 3.54×10^{-5} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ และยังมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่ำกว่ากระแสไฟฟ้าจากสายส่งซึ่งมีคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 0.609 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรที่ 8 ได้ศึกษาภาวการณ์ปล่อยก๊าซเรือนกระจกการปลูกข้าวในพื้นที่ลุ่มน้ำปากนั้ง จังหวัดนครราชสีมา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาบัญชีรายการของกระบวนการผลิตข้าวเปลือก โดยใช้เทคนิค Life Cycle Assessment (LCA) โดยรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรตัวอย่างจำนวน 165 ราย

จักรพงษ์ แยมอ้ม ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการประเมินก๊าซเรือนกระจกในเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพด้วยกลไกพัฒนาที่สะอาดและการประเมินวัฏจักรชีวิต มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์

หาปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกลไกการพัฒนาที่สะอาด และการประเมินวัฏจักรชีวิต และเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากกลไกการพัฒนาที่สะอาด และการประเมินวัฏจักรชีวิต การศึกษาวิจัยนี้ใช้เทคนิคกลไกการพัฒนาที่สะอาดเพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ทั้ง 2 กรณี

พงษ์พันธ์ วิเศษแก้ว ได้ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการจัดการน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลเพื่อใช้ตรงพื้นที่การเกษตร โดยวัตถุประสงค์ศึกษาตามขอบเขตทั้งหมด 3 ส่วน คือ กระบวนการกักเก็บน้ำกากส่าเพื่อรอการขนส่ง กระบวนการขนส่ง และกระบวนการฉีดพ่นกากส่าภายในแปลงเกษตร จากการศึกษาระยะเวลา 12 เดือน พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการกักเก็บน้ำกากส่าเพื่อรอการขนส่ง โดยช่วงฤดูร้อน มีอุณหภูมิภายในบ่อเก็บเฉลี่ย 60 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าช่วงฤดูฝน และฤดูหนาว ที่มีค่าเฉลี่ย 50 องศาเซลเซียส โดยอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่สามารถตรวจวัดได้ แต่พบว่าเมื่อทำการวิเคราะห์กระบวนการย่อยสลายน้ำกากส่าและตะกอนก้นบ่อแบบไม่ใช้อากาศ เพื่อศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในเขตทดลองที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน เท่ากับ 35.36, 31.73 และ 23.21 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อฤดูกาล (รวมทั้งสิ้น 90.30 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี) ส่วนกระบวนการขนส่ง ทำการศึกษาโดยประเมินข้อมูลทุติยภูมิจากรายงาน ปริมาณการขนส่งน้ำกากส่าจากจุดบริการไปยังสถานีขนถ่ายอ้อยทั้งสิ้น 20 จุด ที่มีระยะแตกต่างกัน พบว่า มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1,782.80 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี และมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการฉีดพ่นน้ำกากส่าภายในแปลงเกษตร เท่ากับ 382.87 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี เป็นต้น โดยอัตราการปลดปล่อยก๊าซชีวภาพตามขอบเขตที่ศึกษามี 3 ส่วน พบว่า มีอัตรา 2,288.97 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี คิดเป็น 7.17 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อการจัดการน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร หรือ 57.3 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อการผลิตเอทานอล 1 ลูกบาศก์เมตร (คำนวณจากอัตราการเกิดน้ำกากส่าที่ 8 ลิตรต่อการผลิตเอทานอล 1 ลิตร)

ธีรนนทา ฤทธิมณี และคณะ (2551) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยนำมาใช้การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าในโรงงานไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมซึ่งเป็นรูปแบบการใช้พลังงานในการผลิตไฟฟ้าที่เป็นตัวอย่างของพลังงานสะอาด โดยก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากก๊าซธรรมชาติเกิดการเผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์ ทำให้สารพิษต่างๆออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเชื้อเพลิงอื่น จากการศึกษา ยังส่งผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel

Depletion) มากที่สุดและการลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ (Natural Resource Depletion) ตามลำดับ ประเภทของโรงไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้ามากที่สุดของประเทศไทยจะเป็น โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมคิดเป็น 51.2% ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของประเทศ รองลงมา คือโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน กำลังการผลิตคิดเป็น 33% โดยโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ประกอบด้วยส่วนที่เป็นกังหันแก๊ส และส่วนที่เป็นพลังงานความร้อนทำให้มีประสิทธิภาพเชิง ความร้อนรวมมีค่าสูงและจากการเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างระบบผลิตไฟฟ้า กังหันแก๊สกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมในประเทศไทยโดยใช้เทคนิค LCA-NETS พบว่าโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมให้ประสิทธิภาพสูงกว่าและสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่า โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส เมื่อคิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า คือผลกระทบทาง ด้านเชื้อเพลิง (Fossil Fuel Depletion) มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือมลพิษทางอากาศ (Air Pollution) และการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ตามลำดับ และทั้งโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม และโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สเมื่อทำงานเขาใกล้ค่ากำลังการผลิตสูงสุดจะทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิง ความร้อนสูง ส่งผลให้ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ

ชนาภา วรรณศรี (2551) ในปัจจุบันเชื้อเพลิงชีวมวลได้ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น จำทำให้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา เทคโนโลยีในการเปลี่ยนรูปและใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ รวมไปถึงงานวิจัยที่ เกี่ยวข้องกับการประเมินศักยภาพและความเหมาะสมในการนำเทคโนโลยีที่มีอยู่อย่างมากมาย มาใช้ในพื้นที่ต่างๆ โดยเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาและใช้กันมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะ ในพื้นที่ชนบทได้แก่เทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชัน เทคโนโลยีดังกล่าวเกี่ยวข้องกับกระบวนการ ทางความร้อนเคมีที่เปลี่ยนพลังงานที่อยู่ในรูปของแข็งให้อยู่ในรูปของก๊าซโดยการนำเชื้อเพลิงแข็ง ไปเผาไหม้ในบริเวณที่มีอากาศหรือออกซิเจนจำกัดเพื่อให้เกิดก๊าซเชื้อเพลิงซึ่งสามารถนำไป เผาไหม้ต่อไป ในเขตภาคเหนือมีสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชโตเร็ว เช่น กระถินยักษ์ ซึ่งมีค่าความร้อนที่ความชื้น 60% เท่ากับ 12.3 MJ/kg ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษา ความเหมาะสมในการนำเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้กระถินยักษ์เป็น เชื้อเพลิง โดยทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานทรัพยากรธรรมชาติ วัตถุดิบ และสารเคมีต่าง ๆ รวมไปถึงการปล่อยมลพิษและการเกิดขยะในขั้นตอนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิต กระแสไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกไม้ การขนส่ง การแปรรูปไม้ และขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งนับรวมถึงแต่กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงไปจนถึงการนำเอา ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ไปเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้ในการปั่นกระแสไฟฟ้า จากนั้นนำฐานข้อมูลที่ได้ ใช้ในการประเมินพลังงานที่ใช้ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น และต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

โดยอาศัยเทคนิคสมดุลพลังงาน การประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรตามลำดับ

Gyory Szbo และคณะ (2014) ในการศึกษาได้ทำการตรวจสอบคาร์บอนฟุตพริ้นต์และสมดุลพลังงานประจำปีของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพในประเทศฮังการีที่กำลังผลิต 0.367 เมกะวัตต์-ชั่วโมง ในปี ค.ศ. 2013 ซึ่งได้อ้างอิงวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพ การประเมินวัฏจักรชีวิตได้พิจารณาถึงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) ระหว่างผลิตวัตถุดิบ และการขนส่ง เข้าสู่โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพระหว่าง การเดินระบบในโรงงาน และระหว่างกระบวนการทิ้งวัสดุของเสียที่ไม่เป็นอันตราย ซึ่งก๊าซเรือนกระจกถูกปลดปล่อยสูงสุดตั้งแต่ต้นสัมพันธ์กับการผลิตวัตถุดิบซึ่งใช้เครื่องจักร และไนตรัสออกไซด์จากการผลิตปุ๋ย ในปี ค.ศ. 2013 โรงไฟฟ้าผลิตได้ 4,347.2 เมกะวัตต์-ชั่วโมง (ไฟฟ้า) และ 4,607.89 เมกะวัตต์-ชั่วโมง (พลังงานความร้อน) คาร์บอนฟุตพริ้นต์ของวัฏจักรชีวิตการผลิตพลังงานปลดปล่อย 208,173 kgCO₂ Equivalents (CO₂e) ถ้าประเทศฮังการีมีโครงสร้างทางพลังงานขึ้นนั้นจะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) มากขึ้น 15 เท่า และทำให้สมดุลพลังงานของกำลังผลิตโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึง 8,955.10 เมกะวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งต้องการพลังงานแค่ 2,720.26 เมกะวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งพลังงานความร้อน 1,520.26 เมกะวัตต์-ชั่วโมง ทำหน้าที่เพื่อให้ความร้อนแก่บ่อหมัก มากกว่า 50% ของการผลิตพลังงานความร้อนเกิดของเสียขึ้น

มธุรส อรัณศรี และคณะ (2556) กรณีกิจการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์ในฟาร์มโคนมจังหวัดขอนแก่น โดยทำการเก็บข้อมูลจากฟาร์มโคนมตัวอย่าง โคนมลูกผสมพันธุ์โฮลส์ไตน์ฟริเซียนจำนวน 91 ตัว แบ่งโคออกเป็น 5 กลุ่มได้แก่ โคพักรีด, โครีดน้ำนม, โคสาว, โครุ่น และลูกโคทำการเก็บข้อมูล ปริมาณการกินได้, ผลผลิตน้ำนม และน้ำหนักตัวสัตว์เพื่อนำข้อมูลที่ได้นำมาหาปริมาณก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่ผลิตจากฟาร์มโคนม แล้วนำมาประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นต์เท่ากับ 0.89 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ equivalent, CO₂e) ต่อกิโลกรัมของผลผลิตน้ำนมที่มีการปรับด้วยพลังงานในน้ำนม (ECM)

วรยุทธ สายบัวตรง และคณะ (2554) การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 ได้ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมไบโอดีเซลของประเทศไทยกับศักยภาพการส่งออกไปสหภาพยุโรป เพื่อศึกษาและคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันของประเทศไทย ขอบเขตการศึกษาพิจารณาตั้งแต่การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันจนถึงการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงในรูปน้ำมันไบโอดีเซล ดำเนินการศึกษาตามมาตรฐาน ISO 14040/14044 และแนวทางการประเมิน

คาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ในไทย ผลการศึกษาโดยเก็บข้อมูลจากโรงงานไบโอดีเซล 7 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 83 ของกำลังการผลิตรวมของประเทศ ผลการศึกษาพบว่า ตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลในประเทศไทย มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 558 ถึง 1,359 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อไบโอดีเซล 1 ตัน โดยปล่อยก๊าซเรือนกระจก ร้อยละ 80 มาจากการใช้วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล และร้อยละ 20 มาจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เมื่อพิจารณาเฉพาะกระบวนการผลิตไบโอดีเซลพบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 73 มาจากการใช้สารเคมี รองลงมาคือการใช้พลังงาน การเผาไหม้เชื้อเพลิง และการขนส่งตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตโดยเฉลี่ยในหน่วยเมกะจูลของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มในประเทศไทย พบว่ามีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิลถึงร้อยละ 70 ซึ่งผ่านเกณฑ์ความยั่งยืนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่กำหนดโดยสหภาพยุโรป



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ขั้นตอนกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ คัดแปลงและโรงไฟฟ้า ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทำการรวบรวมข้อมูลข้อมูลปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และนำมาทำการป้อนส่วน ในหน่วย Functional Unit แล้วคำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมา

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ประกอบด้วย

1. กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)
2. การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)
3. การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)
4. การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

3.2.1 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)

3.2.1.1 กำหนดเป้าหมาย

- 1) เพื่อศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศคัดแปลงและโรงไฟฟ้า
- 2) เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาหรือปรับปรุงของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้าเพื่อลดค่าผลกระทบต่อโลกร้อนลง

3.2.1.2 ขอบเขตการศึกษา

ทำการศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศคัดแปลงและโรงไฟฟ้า เป็นการประเมินแบบ Gate to gate โดยพิจารณากระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งสายโซ่การผลิต โดยแบ่งเป็นประเมินของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้า ตั้งแต่รับวัตถุดิบเข้ามา กระบวนการหมัก กรด กระบวนการปรับสภาพ จนถึงน้ำออกจากระบบ ในส่วนของกระบวนการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ลดอุณหภูมิ ไปจนถึงกระบวนการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

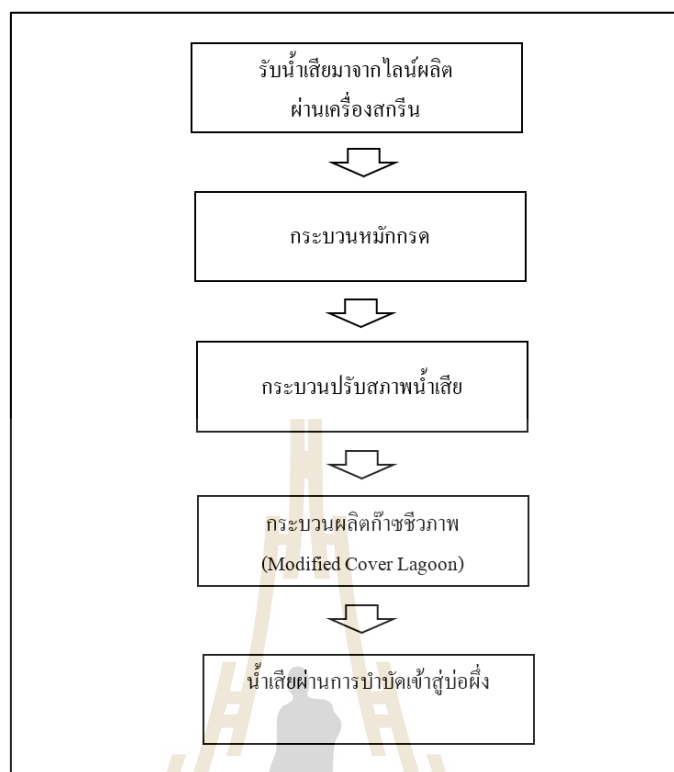
ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ซึ่งเปลี่ยนข้อมูลจากกิจกรรมต่างๆ ให้เป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในหน่วย $\text{kg CO}_2\text{-eq}$ ซึ่งถ้าในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพหน่วยของ Functional Unit คือ $\text{kgCO}_2\text{-eq}$ / การผลิตก๊าซชีวภาพ 1 m^3 และในกระบวนการผลิตไฟฟ้าหน่วยของ Functional Unit คือ $\text{kgCO}_2\text{-eq}$ / การผลิตไฟฟ้า 1 kWh

3.2.2 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเป็นการวิเคราะห์รวบรวมข้อมูล และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลและปริมาณของสารขาเข้า สารขาออกของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ พลังงาน และการปลดปล่อยของเสียที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนต่าง ๆ ในแต่ละกิจกรรมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2560 ซึ่งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากงานจริง ตรวจสอบข้อมูลจากแผนที่เกี่ยวข้อง โดยข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ในกระบวนการทุติยภูมิ (Secondary Data) โดยแบ่งการประเมินของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้า มีขั้นตอนดังนี้

3.2.2.1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

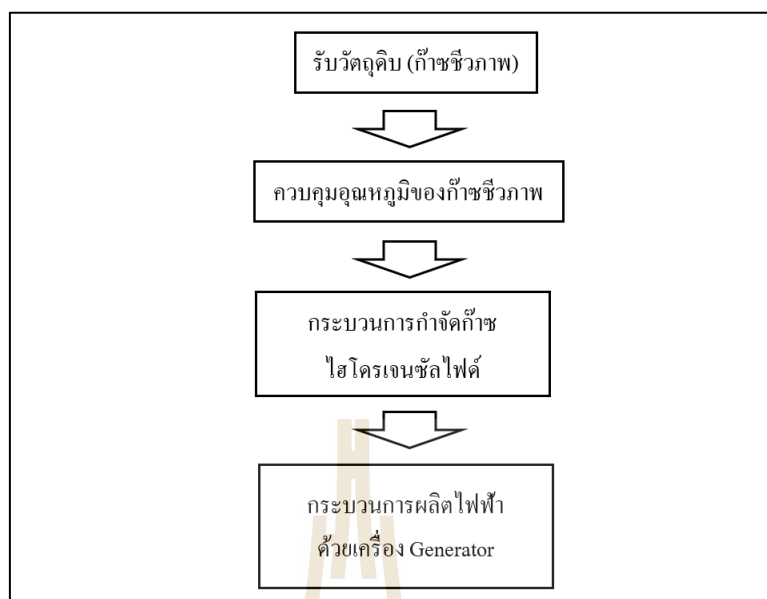
- 1) รับน้ำเสียเข้าระบบ เป็นขั้นตอนแรกที่รับน้ำเสียมาจากโรงงานผลิตแยมสำหรับแช่แข็ง ดังรูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการรับน้ำเสีย โดยเข้ามาผ่านการสกรีนแยกกากออกจากน้ำเสียก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันในเส้นท่อหรือกักบ่อ เป็นการกรองแบบละเอียดตั้งแต่ต้นทาง
- 2) บ่อหมักกรด เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง เช่นการย่อยจากคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ให้กลายเป็นกรดไขมัน กรดอะมิโน เป็นต้น ซึ่งจะมีจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการผลิตกรดที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) เพื่อควบคุมให้อยู่ในสถานะที่มีความเป็นกรด เช่น VFA ควรมีค่ามากกว่า $1,500$ มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น
- 3) บ่อปรับสภาพน้ำเสีย เป็นการปรับสภาพระหว่างน้ำเสียที่เข้ามาใหม่ (น้ำหมักกรด) กับน้ำเสียที่หมุนเวียนในระบบเพื่อปรับค่าพีเอชให้เหมาะสมก่อนทำการเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป ภายในบ่อนี้มีอัตราส่วนในการผสมน้ำเสีย 4:1 (น้ำเสียสด: น้ำเสียภายในบ่อหมักแบบไม่ใช้อากาศ)
- 4) การหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ เป็นขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนเป็นตัวหลักในระบบแบบไม่ใช้อากาศ โดยเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน (CH_4), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

3.2.2.2 กระบวนการผลิตไฟฟ้า

กระบวนการผลิตไฟฟ้าเป็นการนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่อง Generator เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.2 โดยขั้นแรกต้องผ่านกระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เพื่อลดการกัดกร่อนของชิ้นส่วนเครื่องปั่นไฟ โดยทำการลดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลงโดยใช้วิธี Bio Scrubber เป็นการนำจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนมาเป็นส่วนผสมในการกำจัดและใช้ตัวกลางคือ Media ที่อาศัยการเกาะติด หลังจากนั้นก๊าซชีวภาพจะเข้าสู่เครื่องลดความชื้นออกจากก๊าซชีวภาพเพื่อลำเลียงเข้าสู่เครื่องปั่นไฟ (Generator) ที่มีการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการสันดาปภายในเครื่องยนต์จนได้มาเป็นกระแสไฟฟ้าต่อไป ซึ่งไฟฟ้าที่ผลิตได้ส่งไปขายที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่มีขนาดกำลังการผลิต 4 MW และบัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิต ดังแสดงตารางที่ 3.1 ถึงตารางที่ 3.8 เพื่อใช้ในการนำมาวิเคราะห์แต่ละขั้นตอน



รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 3.1 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ และกระบวนการผลิตไฟฟ้า (รับน้ำเสียเข้าระบบ)

กระบวนการ	ขั้นตอนย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	วิธีการรวบรวมข้อมูล
รับน้ำเสียเข้าระบบ	เครื่องสกรีนเปลือกมัน	- เศษเปลือกมัน - น้ำเสีย (วัตถุดิบ) - น้ำเสียที่ผ่านเครื่องสกรีน	เก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการรับน้ำเสียเข้าระบบจากมาตรวัดจริงและจากกาสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่พนักงานและยอดการสั่งซื้อจากแผนกจัดซื้อของบริษัท รวมไปถึงแผนกสต็อก - อัตราไหลของน้ำเสียเข้าระบบ - ปริมาณเศษเปลือกมัน - ปริมาณผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง

ตารางที่ 3.2 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
และกระบวนการผลิตไฟฟ้า (กระบวนการหมักกรด)

กระบวนการ	ขั้นตอนย่อย	ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	วิธีการรวบรวมข้อมูล
กระบวนการหมักกรด (Acid)	1. Acid Pond 2. Mixer	- น้ำเสียที่เข้าสู่บ่อหมักกรด (วัตถุดิบ) - ปริมาณไฟฟ้า - ของเสีย เช่น เศษผ้าเช็ดมือ, จารบี	เก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการตรวจวัดจริงและจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่พนักงาน และขอการสั่งซื้อจากแผนกจัดซื้อของบริษัท รวมถึงไปถึงแผนกสโตร์ - อัตราไหลของน้ำเสียเข้าระบบ - ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น - ปริมาณผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง

ตารางที่ 3.3 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
และกระบวนการผลิตไฟฟ้า (บ่อปรับสภาพ)

กระบวนการ	ขั้นตอนย่อย	ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	วิธีการรวบรวมข้อมูล
บ่อปรับสภาพ (Mixing)	Mixing Pond	- น้ำเสียที่เข้าสู่บ่อปรับสภาพ - ปริมาณไฟฟ้า (ใบกวน) - ของเสีย เช่น จารบี, ผ้าเช็ดมือ - น้ำที่ผ่านการปรับสภาพ (ผลิตภัณฑ์) - อัตราไหลของน้ำเสียเข้าระบบ, น้ำออกจากระบบ UASB, น้ำหมักกรดเฟส 1 และเฟส 2, น้ำสำเหล้า, น้ำดี แคนเตอร์ - ปริมาณค่า COD ของน้ำเสียเข้าระบบ	เก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการจากการตรวจวัดจริงและจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่พนักงาน และขอการสั่งซื้อจากแผนกจัดซื้อของบริษัท รวมถึงไปถึงแผนกสโตร์ - ปริมาณไฟฟ้า - ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น - ปริมาณผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง

ตารางที่ 3.4 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ และกระบวนการผลิตไฟฟ้า (กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพจากบ่อปิดไม่ใช้อากาศ ดัดแปลง)

กระบวนการ	ขั้นตอนย่อย	ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	วิธีการรวบรวมข้อมูล
กระบวนการหมัก ก๊าซชีวภาพจากบ่อ ปิดไม่ใช้อากาศ ดัดแปลง (Modified Cover Lagoon)	Anaerobic Pond	- น้ำเสียที่เข้าสู่บ่อหมักก๊าซชีวภาพ - ปริมาณไฟฟ้า - น้ำที่ออกจากระบบ (ผลิตก๊าซ) - น้ำกลั่น - ซิลเวอร์ซัลเฟต - โพแทสเซียมคลอไรด์ - บัฟเฟอร์ pH4.10 - บัฟเฟอร์ pH7.00 - บัฟเฟอร์ pH10.01 - Pepsin/HCL - เมอร์คิวรี ซัลเฟต - Solution COD 500 mg/l - Solution COD 5000 mg/l - โพแทสเซียมไดโครเมต - โซเดียมไฮดรอกไซด์ - กรดซัลฟูริก - ผ้าปิดจุ่ม - กระดาษกรอง GF/C - ถังมือยางธรรมชาติ - ฟรอยด์ - ผ้าเช็ดมือ - กระดาษทิชชู - ซิลิกาเจล	เก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการจากการตรวจวัดจริงและจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่พนักงานและขอการสั่งซื้อจากแผนกจัดซื้อของบริษัท รวมไปถึงแผนกสต็อก - อัตราไหลของน้ำเสียเข้าระบบ - ปริมาณค่า COD ของน้ำเสียเข้าระบบ - ปริมาณไฟฟ้า - ปริมาณผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง

ตารางที่ 3.5 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
และกระบวนการผลิตไฟฟ้า (น้ำเสียผ่านการบำบัด)

กระบวนการ	ขั้นตอนย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	วิธีการรวบรวมข้อมูล
น้ำเสียผ่านการบำบัด (Effluent)	Over Flow (น้ำไหลล้น ออกจากระบบ)	- น้ำเสียที่ออกจากระบบ - ค่า BOD - ค่า COD - ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ (ผลิตภัณฑ์)	เก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการจากการตรวจวัดจริงและจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่พนักงานและขอการตั้งชื่อจากแผนกจัดซื้อของบริษัทรวมไปถึงแผนกสต็อก - อัตราไหลของน้ำเสียออกจากระบบ - ปริมาณผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง - ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

ตารางที่ 3.6 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
และกระบวนการผลิตไฟฟ้า (กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์)

กระบวนการ	ขั้นตอนย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	วิธีการรวบรวมข้อมูล
กระบวนการกำจัด ก๊าซไฮโดรเจน- ซัลไฟด์	- ถังปฏิกรณ์ (Scrubber)	- น้ำเสียที่ออกจากระบบ - ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ - ก๊าซ - คาร์บอนไดออกไซด์ - ถู media - ก๊าซชีวภาพ(ผลิตภัณฑ์)	เก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการจากการตรวจวัดจริงและจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่พนักงานและขอการตั้งชื่อจากแผนกจัดซื้อของบริษัทรวมไปถึงแผนกสต็อก - อัตราไหลของน้ำเสีย - ปริมาณค่าซัลเฟอร์ของน้ำเสีย - ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น (ตะกอน, น้ำ Make up) - ปริมาณผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง

ตารางที่ 3.7 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
และกระบวนการผลิตไฟฟ้า (กระบวนการผลิตไฟฟ้า)

กระบวนการ	ขั้นตอนย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	วิธีการรวบรวมข้อมูล
กระบวนการผลิตไฟฟ้า	Generator	- ก๊าซชีวภาพ (วัตถุดิบ) - ปริมาณไฟฟ้า - ถุงมือ (ผ้าฝ้าย) - แบตเตอรี่ - ประเก็น - น้ำมันเครื่อง - จารบี - Flex ขนาดเล็ก - สายพาน - หัวเทียน - น้ำหล่อเย็น - โอริงค์ - ไล่กรองอากาศ - ไล่กรองน้ำมัน - ผ้ากรอง - ผ้าเช็ดมือ - ถังน้ำมันเครื่อง - ใช้น้ำระเหย - ไฟฟ้าที่ผลิตได้ (ผลิตกันท์)	เก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการจากการตรวจวัดจริงและจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่พนักงานและขอการสั่งซื้อจากแผนกจัดซื้อของบริษัทรวมถึงแผนกสต็อก

ตารางที่ 3.8 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
และกระบวนการผลิตไฟฟ้า (ไฟฟ้าที่ใช้ในออฟฟิศ)

กระบวนการ	ขั้นตอนย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	วิธีการรวบรวมข้อมูล
ไฟฟ้าที่ใช้ในออฟฟิศ	ปริมาณไฟฟ้า	- เก็บจากบิลค่าไฟ - ส่วนของปั้มน้ำเสีย - ส่วนของโบกวน - ส่วนออฟฟิศ - ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารผลิตไฟฟ้า	- เก็บรวบรวมข้อมูลจากการตรวจวัดจริงและจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่พนักงานและขอการสั่งซื้อจากแผนกจัดซื้อของบริษัทรวมถึงแผนกสต็อก - ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนของทั้งกระบวนการผลิต

3.2.3 การประเมินผลกระทบ

เมื่อทำการจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้า สารขาออกในกิจกรรมแต่ละขั้นตอนนี้แล้ว นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่มีการปลดปล่อยจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ระบบบ่อบีดแบบไม่ใช้อากาศตัดแปลงและโรงไฟฟ้า โดยใช้วิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งคำนวณออกมาในรูปของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{kg CO}_2\text{-eq}$) ซึ่งเป็นการคำนวณตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ ไปจนถึงของเสียที่เกิดขึ้นของทั้งกระบวนการ

3.2.4 การแปรผล

การคำนวณค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละกิจกรรมที่เกิดขึ้นแล้ว จะนำมาแปรผลเป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG) โดยนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ในแต่ละขั้นตอนตั้งแต่กระบวนการรับน้ำเสียเข้าระบบ กระบวนการหมักกรด กระบวนการปรับสภาพน้ำเสีย และกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Modified Cover Lagoon ซึ่งทำการวิเคราะห์ว่าขั้นตอนใดที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเมื่อเทียบกับข้อมูลจาก IPCC ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในหน่วย $\text{kg CO}_2\text{-eq}$ ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ 1 m^3

กระบวนการผลิตไฟฟ้านั้นมีการคำนวณในของแต่ละกิจกรรมที่เกิดขึ้นตลอดทั้งวัฏจักร ในขั้นตอนใดมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด แล้วนำมาผลที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้ไฟฟ้าจากสายกระแสส่งต่อหน่วย 1 kWh

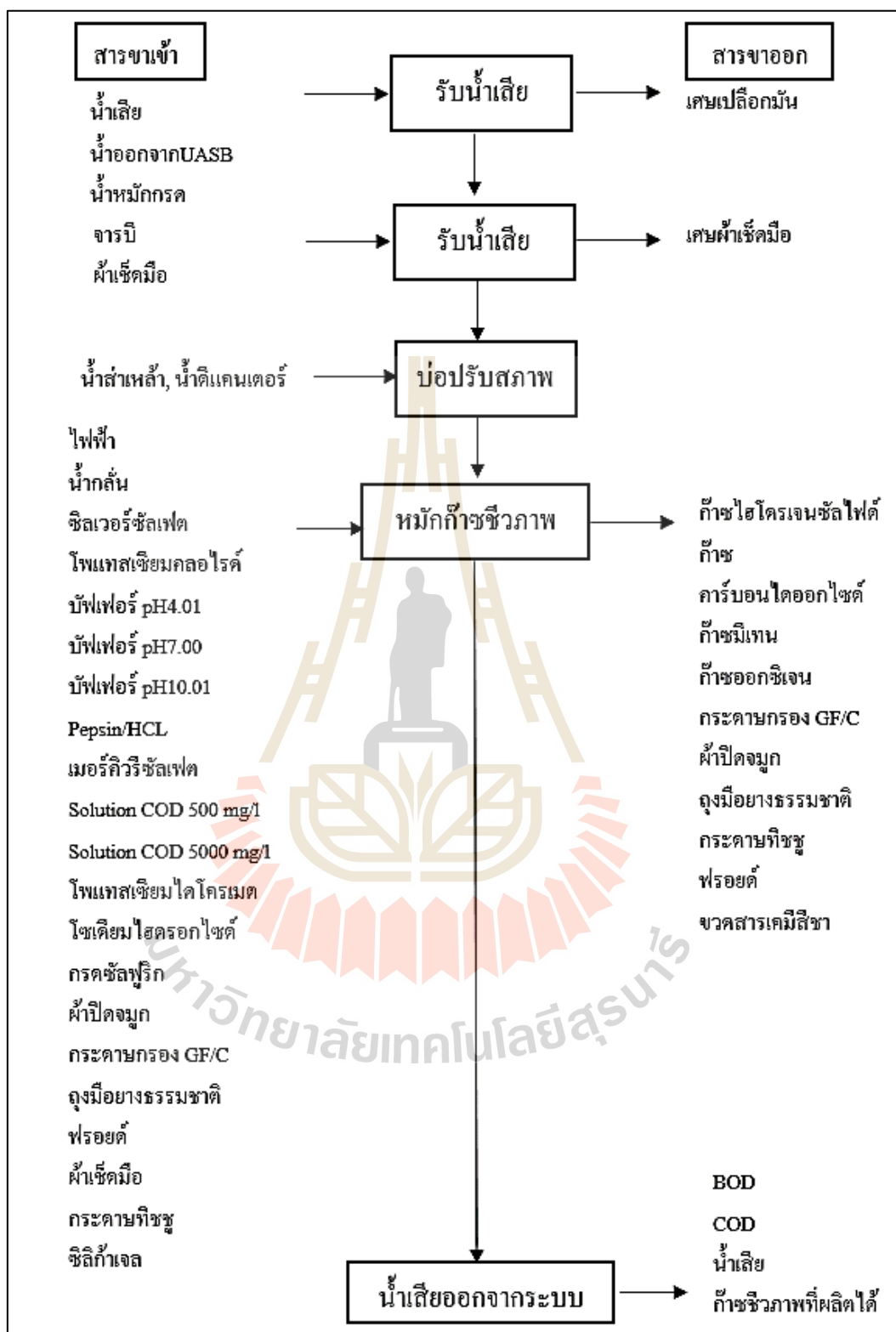
บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

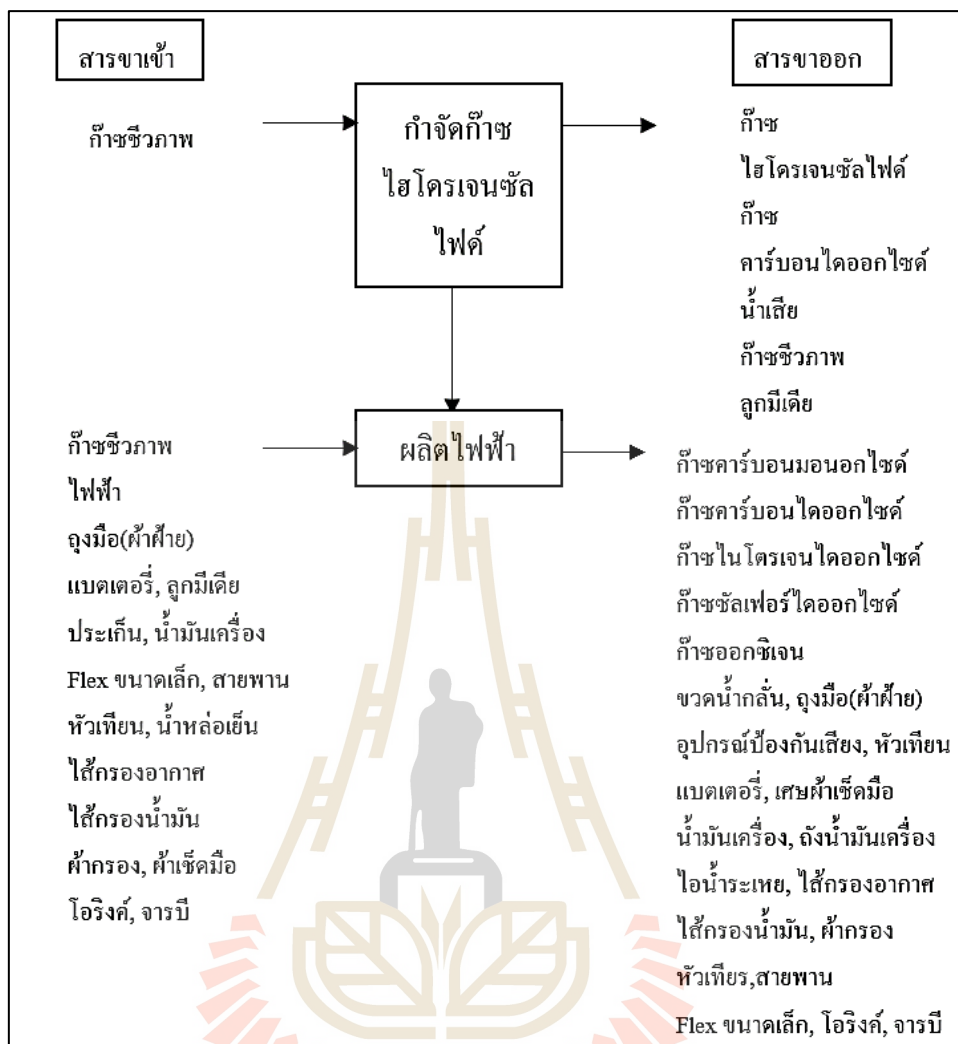
4.1 ผลการดำเนินการวิจัย

รายละเอียดของผลิตภัณฑ์

การศึกษาข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ซึ่งเปลี่ยนข้อมูลจากกิจกรรมต่าง ๆ ให้เป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในหน่วย $\text{kg CO}_2\text{-eq}$ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ หน่วยของ Functional Unit คือ $\text{kgCO}_2\text{-eq} / \text{การผลิตก๊าซชีวภาพ } 1 \text{ m}^3$ และในกระบวนการผลิตไฟฟ้า หน่วยของ Functional unit คือ $\text{kgCO}_2\text{-eq} / \text{การผลิตไฟฟ้า } 1 \text{ kWh}$ ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 แสดงกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ไปจนถึงกระบวนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดของสารขาเข้า สารขาออก ระหว่างแต่ละกระบวนการ ซึ่งจะแสดงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ด้วย และปริมาณในรูปของหน่วยผลิตภัณฑ์ ซึ่งแสดงรายละเอียดข้อมูลของแต่ละกระบวนการ เพื่อให้เกิดการประเมินที่ครอบคลุมของขั้นตอนกระบวนการทั้งหมด



รูปที่ 4.1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 4.2 กระบวนการผลิตไฟฟ้า

4.1.1 กระบวนการรับน้ำเสีย

กระบวนการรับน้ำเสียแสดงปริมาณสารขาเข้า สารขาออก มีปริมาณเท่าใดโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 ปี ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารขาเข้า-สารขาออกที่เกิดขึ้นของกระบวนการรับน้ำเสีย

สารขาเข้า			กระบวนการ รับน้ำเสีย	สารขาออก		
วัตถุดิบ/ ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย		วัตถุดิบ/ ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	2,976,532	m ³		เศษเปลือกมัน	960,000	kg
น้ำออกจากระบบ UASB	1,983,751	m ³		-	-	-
น้ำหมักกรด UASB	696,233	m ³		-	-	-

4.1.2 กระบวนการหมักกรด

กระบวนการหมักกรดเป็นกระบวนการรับน้ำเสียผ่านเครื่องสกรีน แสดงปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ดังตารางที่ 4.2 โดยการแยกเศษเปลือกมันออกจากน้ำเสีย เพื่อได้น้ำเสียที่ไม่มี การปนเปื้อน โดยน้ำเสียไหลลงบ่อหมักกรด เป็นการย่อยสลายสาร โมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง เพื่อให้เกิดเป็นกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งค่า VFA ควรมากกว่า 1,500 mg/l as CH₃COOH

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการหมักกรด

สารขาเข้า			กระบวนการ หมักกรด	สารขาออก		
วัตถุดิบ/ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย		วัตถุดิบ/ ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย
จากรปี	18	kg		เศษผ้าทำ ความสะอาด	50	kg
ผ้าเช็ดมือ	50	kg		-	-	-

4.1.3 กระบวนการปรับสภาพน้ำเสีย

กระบวนการปรับสภาพน้ำเสียเป็นการปรับสภาพน้ำเสียระหว่างน้ำที่เข้าระบบใหม่และน้ำที่หมุนเวียนอยู่ภายในบ่อซึ่งมีค่าพีเอชเป็นกลาง เพื่อทำการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง pH 5-6 เพื่อให้จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการผลิตก๊าซชีวภาพทำงานได้เหมาะสม และแสดงปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการปรับสภาพน้ำเสีย

สารขาเข้า			กระบวนการ ปรับสภาพ น้ำเสีย	สารขาออก		
วัตถุดิบ/ ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย		วัตถุดิบ/ ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย
น้ำสำเหล้า	2,162.3	m ³		-	-	-
น้ำดีแคนเตอร์	2,1623.4	m ³		-	-	-

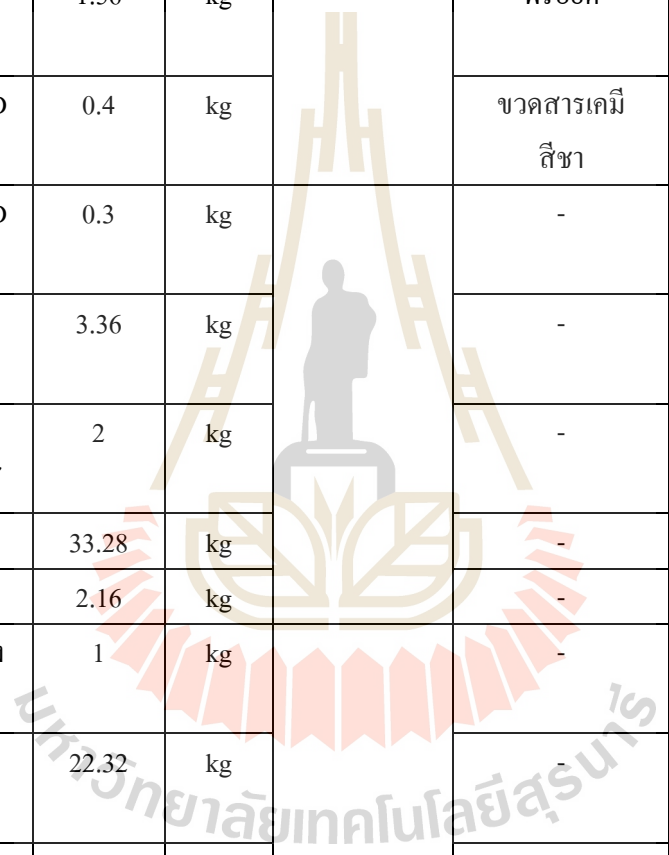
4.1.4 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งเป็นขั้นตอนของการเปลี่ยนจากกรดไขมันระเหยง่าย ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน และแสดงปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ตารางที่ 4.4 ซึ่งมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

สารขาเข้า			กระบวนการ ผลิตก๊าซ ชีวภาพแบบ ไม่ใช้อากาศ	สารขาออก		
วัตถุดิบ/ ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย		วัตถุดิบ/ ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย
ไฟฟ้า	1,011,086	kW-h		ก๊าซ H ₂ S	13,603.11	kg
น้ำกลั่น	812	kg		ก๊าซ CO ₂	13,192,268	kg
ซิลเวอร์ซัลเฟต	0.72	kg		ก๊าซมีเทน	6,907,951.35	kg
โพแทสเซียม คลอไรด์	3.6	kg		ก๊าซออกซิเจน	0	kg
บัพเฟอร์ pH 4.01	6.24	kg		กระดวยกรอง GF/C	1.30	kg
บัพเฟอร์ pH 7.00	6.24	kg		ผ้าปิดจุ่ม	2.16	kg

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

สารขาเข้า			กระบวนการ ผลิตก๊าซ ชีวภาพแบบ ไม่ใช้อากาศ	สารขาออก		
วัตถุดิบ/ ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย		วัตถุดิบ/ ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย
บัฟเฟอร์ pH 10.01	6.24	kg		ถูงมือยาง ธรรมชาติ	22.32	kg
Pepsin/HCL	3.36	kg		กระดาษทิชชู	69.12	kg
เมอร์คิวรี ซัลเฟต	1.56	kg		ฟรอยด์	6.72	kg
Solution COD 500 mg/l	0.4	kg		ขวดสารเคมี สีชา	8.10	kg
Solution COD 5000 mg/l	0.3	kg		-	-	-
โพแทสเซียม ไดโครเมต	3.36	kg		-	-	-
โซเดียม ไฮดรอกไซด์	2	kg		-	-	-
กรดซัลฟูริก	33.28	kg		-	-	-
ผ้าปิดจมูก	2.16	kg		-	-	-
กระดาษกรอง GF/C	1	kg		-	-	-
ถูงมือยาง ธรรมชาติ	22.32	kg		-	-	-
ฟรอยด์	6.72	kg		-	-	-
ผ้าเช็ดมือ	25	kg		-	-	-
กระดาษ ทิชชู	69.12	kg		-	-	-
ซิลิกาเจล	1.46	kg		-	-	-

4.1.5 กระบวนการนำออกจากระบบ

กระบวนการนำออกจากระบบโดยเข้าสู่บ่อปรับเสถียรขั้นสุดท้าย ซึ่งมีค่าความสกปรกของน้ำเสีย ประมาณ 80-90% เป็นการลดค่า COD ออกจากน้ำเสีย เพื่อให้ไหลไปต่อยังบ่อปรับเสถียรที่รองรับน้ำเสียไว้ เป็นการบำบัดด้วยวิธีธรรมชาติต่อไป และแสดงปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ดังตารางที่ 4.5 ใช้เป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการน้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้ว

ออกจากระบบ

สารขาเข้า			กระบวนการ นำออกจาก ระบบ	สารขาออก		
วัตถุดิบ/ ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย		วัตถุดิบ/ ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย
-	-	-		ค่า BOD	77,763.21	kg
-	-	-		ค่า COD	4613595.05	kg
-	-	-		น้ำเสีย	5,184,214	m ³
-	-	-		ก๊าซชีวภาพ ที่ผลิตได้	15,297,157	m ³

4.1.6 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นการทำความสะอาดก๊าซชีวภาพด้วยวิธีทางชีววิทยา และแสดงปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งนำเอาข้อมูลที่ผ่านการบำบัดจากบ่อปรับเสถียรมาทำการฉีดพ่นภายในถัง Scrubber โดยมีลูกมีเดียเป็นตัวกลางให้ก๊าซซัลเฟอร์เกาะตัว เพื่อทำความสะอาดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

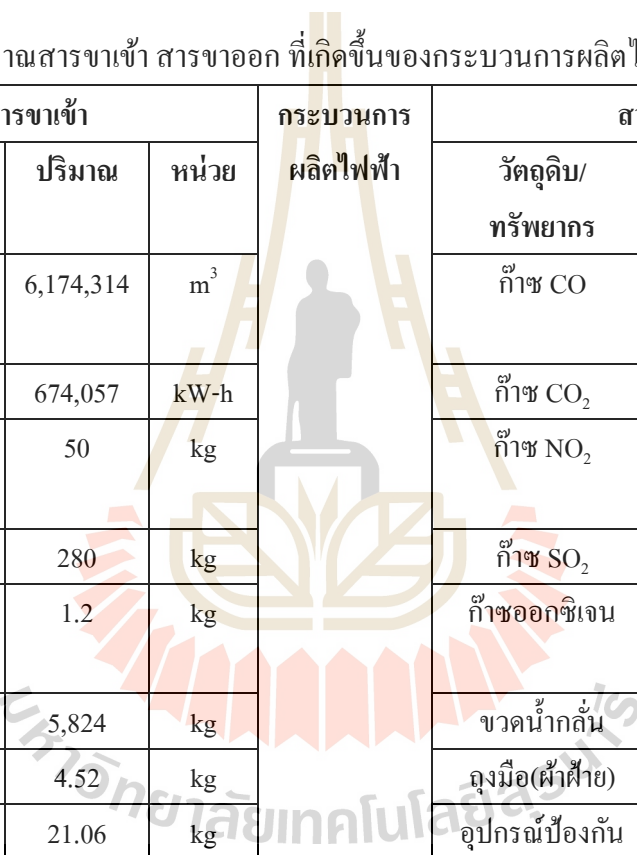
ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

สารขาเข้า			กระบวนการ กำจัดก๊าซ ไฮโดรเจน ซัลไฟด์	สารขาออก		
วัตถุดิบ/ ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย		วัตถุดิบ/ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย
ก๊าซชีวภาพ	6,174,314	m ³		ก๊าซ H ₂ S	91,603.45	kg
-	-	-		ก๊าซ CO ₂	0	kg
-	-	-		ลูกมีเดีย	4,200	kg
-	-	-		น้ำเสีย	61,880	m ³

4.1.7 กระบวนการผลิตไฟฟ้า

กระบวนการผลิตไฟฟ้าเป็นกระบวนการนำก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และแสดงปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ดังตารางที่ 4.7 ออกซึ่งเป็นสาเหตุหลักทำให้เครื่องยนต์สึกกร่อนแล้ว โดยการนำก๊าซชีวภาพเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แล้วทำการบำบัดแบบชีวภาพซึ่งมีน้ำสเปรย์จากด้านบนถึงลงสู่ด้านล่างถึง ผ่านตัวกลางมีเดียในการทำความสะดวก โดยมีการอัดอากาศเข้าไปในระบบเพื่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของก๊าซซัลเฟอร์ที่เกาะถูกมีเดียให้หลุดออกมา

ตารางที่ 4.7 ปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการผลิตไฟฟ้า

สารขาเข้า			กระบวนการผลิตไฟฟ้า	สารขาออก		
วัตถุดิบ/ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย		วัตถุดิบ/ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย
ก๊าซชีวภาพ	6,174,314	m ³		ก๊าซ CO	1,081.5	kg
ไฟฟ้า	674,057	kW-h		ก๊าซ CO ₂	8,602,960.8	kg
ถุงมือ (ผ้าฝ้าย)	50	kg		ก๊าซ NO ₂	354.75	kg
แบตเตอรี่	280	kg		ก๊าซ SO ₂	180.16	kg
ประเก็น	1.2	kg		ก๊าซออกซิเจน	656,953,372	kg
น้ำมันเครื่อง	5,824	kg		ขวดน้ำกลั่น	17	kg
Flex ขนาดเล็ก	4.52	kg		ถุงมือ (ผ้าฝ้าย)	50	kg
สายพาน	21.06	kg		อุปกรณ์ป้องกันเสียง	3.6	kg
หัวเทียน	4	kg		หัวเทียน	4	kg
น้ำหล่อเย็น	23,679	m ³		แบตเตอรี่	280	kg
ไส้กรองอากาศ	240	kg		เศษผ้า	122	kg
ไส้กรองน้ำมัน	85.12	kg		น้ำมันเครื่อง	5,824	kg
ผ้ากรอง	6	kg		ถังน้ำมันเครื่อง	476	kg
ผ้าเช็ดมือ	122	kg		ไอน้ำระเหย	12,540	m ³

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นของกระบวนการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

สารขาเข้า			กระบวนการผลิตไฟฟ้า	สารขาออก		
วัตถุดิบ/ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย		วัตถุดิบ/ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย
โอริงค์	0.96	kg		ไส้กรองอากาศ	240	kg
จารบี	29	kg		ไส้กรองน้ำมัน	85.12	kg
-	-	-		ผ้ากรอง	6	kg
-	-	-		สายพาน	21.1	kg
-	-	-		Flex ขนาดเล็ก	4.52	kg
-	-	-		โอริงค์	1	kg
-	-	-		จารบี	29	kg

4.2 การประเมินก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง และกระบวนการผลิตไฟฟ้า

การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการจัดหาวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ และกระบวนการผลิตไฟฟ้าต้องใช้ข้อมูลวัตถุดิบ ทรัพยากรจากฐานข้อมูล Ecoinvent version 2.0 (2007) และ Thai national Database ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่มีความละเอียดครอบคลุมของทั้งกระบวนการอีกอย่างเป็นฐานข้อมูลที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

4.2.1 การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนแรก

ขั้นตอนการรับน้ำเสีย

ขั้นตอนการรับน้ำเสียมีสารขาออกคือ เศษเปลือกมันที่ผ่านการกรองแยกออกจากน้ำเสีย โดยการรวบรวมข้อมูลในระยะเวลา 1 ปี ของ พ.ศ. 2560 ในขั้นตอนนี้ คัดสารขาเข้า ปริมาณน้ำเสียเข้า มีค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นเท่ากับ 2.3×10^{-3} kgCO₂-eq, น้ำออกจากระบบ UASB มีค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นเท่ากับ 1.6×10^{-3} kgCO₂-eq, น้ำหมักกรดจากระบบ UASB เฟส 1,2 มีค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นเท่ากับ 5×10^{-5} kgCO₂-eq, สารขาออก เศษเปลือกมันที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย น้ำเสียถูกลำเลียงไปยังบ่อหมักกรดต่อไป โดยค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นเท่ากับ 3.51×10^{-3} kg CO₂-eq ดังตารางที่ 4.8 โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการ

$$\text{ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมใด ๆ} = \text{ข้อมูลกิจกรรม} \times \text{ค่า สปส. ของกิจกรรม} \quad (4.1)$$

โดยที่ ข้อมูลกิจกรรม คือ หน่วยอ้างอิงของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (หน่วย)

ค่า สปส.ของกิจกรรม คือ ค่าที่แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย ($\text{KgCO}_2\text{e/หน่วย}$)

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมใด ๆ คือ การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{kgCO}_2\text{-eq}$)

ตารางที่ 4.8 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการรับน้ำเสีย

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณต่อหน่วย	ค่า EF ($\text{kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($\text{kg CO}_2\text{-eq}$)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
สารขาเข้า						
น้ำเสีย	2976532	m^3	1.9×10^{-1}	0.00120	2.3×10^{-3}	IPCC (2006) Chapter 6
น้ำออกจากระบบ UASB	1983751	m^3	1.2×10^{-1}	0.00120	1.6×10^{-3}	IPCC (2006) Chapter 6
น้ำหมักกรดจากระบบ UASB	696,233	m^3	4.5×10^{-2}	0.00120	5×10^{-3}	IPCC (2006) Chapter 6
สารขาออก						
เศษเปลือกมัน	960,000	kg	6.27×10^{-2}	0.0488	3.06×10^{-3}	Thai national database

ขั้นตอนการหมักกรด การคำนวณดังแสดงตารางที่ 4.9 ในส่วนของการซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่ก่อให้เกิดของเสีย เศษผ้าทำเช็ดมือ มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ $1 \times 10^{-5} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ และผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการนี้เท่ากับ $1.5 \times 10^{-4} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ รายละเอียดการคำนวณสารขาเข้าคือ

จารบี 18 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.2×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ $1.0547 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$ ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ $1 \times 10^{-6} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

ผ้าเช็ดมือ 50 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 3.26×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ $2.11 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$ ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ $7 \times 10^{-6} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

สารขาออก คือ เศษผ้าทำความสะอาด 50 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 3.26×10^{-2} ค่า Emission Factor เท่ากับ $2.11 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$ ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ $1 \times 10^{-5} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

ตารางที่ 4.9 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการหมักกรด

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณต่อหน่วย	ค่า EF ($\text{kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($\text{kg CO}_2\text{-eq}$)	แหล่งข้อมูล อ้างอิง
สารขาเข้า						
จาร์บี	18	kg	1.2×10^{-6}	1.0547	1.24×10^{-6}	Thai national database
ผ้าเช็ดมือ	50	kg	3.3×10^{-6}	2.11	6.89×10^{-6}	Thai national database
สารขาออก						
เศษผ้าทำความสะอาด	50	kg	3.26×10^{-6}	2.11	1×10^{-5}	Thai national database
รวม					1.5×10^{-5}	

ขั้นตอนการปรับสภาพน้ำเสีย (Mixing) การคำนวณดังแสดงตารางที่ 4.10 ปริมาณน้ำเสียต่าง ๆ ที่เข้ามายังระบบเพื่อทำการปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสม โดยน้ำเสียดีแคนเตอร์มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ $2 \times 10^{-5} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ ผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการนี้เท่ากับ $1.8 \times 10^{-6} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ รายละเอียดการคำนวณสารขาเข้าคือ

น้ำเสียส่วเล้า 2,162.3 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.41×10^{-4} ค่า Emission Factor เท่ากับ $0.0012 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$ ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ $1.7 \times 10^{-6} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

น้ำเสียดีแคนเตอร์ 2,162.4 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.41×10^{-3} ค่า Emission Factor เท่ากับ $0.0012 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$ ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ $2 \times 10^{-5} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

ตารางที่ 4.10 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการปรับสภาพน้ำเสีย

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณต่อ หน่วย	ค่า EF (kg CO ₂ -eq/ หน่วย)	คาร์บอน ฟุตพริ้นท์ (kg CO ₂ -eq)	แหล่งข้อมูล อ้างอิง
สารขาเข้า						
น้ำเสีย ส่าเหล้า	2,162.3	m ³	1.41×10^{-4}	0.0012	1.7×10^{-6}	IPCC (2006) Chapter 6
น้ำเสียดี แคนเตอร์	2,162.3	m ³	1.41×10^{-3}	0.0012	2×10^{-5}	IPCC (2006) Chapter 6
รวม					1.8×10^{-6}	

ขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพ โดยทำการคำนวณดังแสดงตารางที่ 4.11 ปริมาณไฟฟ้า วัตถุดิบสารขาเข้า สารขาออกของทั้งกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ โดยไฟฟ้าที่ใช้ในระบบมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 4.58×10^{-2} kg CO₂-eq ผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการนี้ เท่ากับ 4.5×10^{-2} kg CO₂-eq รายละเอียดการคำนวณสารขาเข้าคือ

ไฟฟ้า 1,011,086 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ปริมาณ/FU เท่ากับ 6.6×10^{-2} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.6933 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 4.5×10^{-2} kg CO₂-eq

น้ำกลั่น 812 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 6.6×10^{-5} ค่า Emission Factor พบว่าไม่พบค่า ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ไม่พบค่า

ซิลเวอร์ซัลเฟต 0.72 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.7×10^{-8} ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.9272 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 9.1×10^{-8} kg CO₂-eq

โพแทสเซียมคลอไรด์ 3.6 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.3×10^{-7} ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

บัพเฟอร์ pH4.01 6.24 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.0×10^{-7} ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

บัพเฟอร์ pH7.00 6.24 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.0×10^{-7} ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

บัพเฟอร์ pH10.01 6.24 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.0×10^{-7} ค่า Emission factor พบว่า ไม่พบค่า ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

pepsin/HCL 3.36 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.2×10^{-7} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.8709 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.9×10^{-7} kg CO₂-eq

เมอร์คิวรีซัลเฟต 1.56 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1×10^{-7} Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

Standard solution COD 500 mg/l 0.4 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.6×10^{-8} ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.9720 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 5.2×10^{-8} kg CO₂-eq

Standard solution COD 5000 mg/l 0.4 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.0×10^{-8} ค่า Emission factor เท่ากับ 1.9720 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 3.9×10^{-8} kg CO₂-eq

โพแทสเซียมไดโครเมต 3.36 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.2×10^{-7} ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.9272 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 4.2×10^{-7} kg CO₂-eq

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.3×10^{-7} ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.11480 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.4×10^{-7} kg CO₂-eq

กรดซัลฟูริก 33.48 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.1×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.1219 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 2.6×10^{-7} kg CO₂-eq

ผ้าปิดจมูก 2.16 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.4×10^{-7} ค่า Emission Factor เท่ากับ 7.5500 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1×10^{-6} kg CO₂-eq

กระดาษกรอง GF/C 1 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 7.2×10^{-8} ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.8790 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.3×10^{-7} kg CO₂-eq

ถุงมือยางธรรมชาติ 22.32 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.4×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.1887 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 2.7×10^{-7} kg CO₂-eq

ฟรอยด์ 6.72 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.3×10^{-7} ค่า Emission Factor เท่ากับ 3.2231 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.4×10^{-6} kg CO₂-eq

ผ้าเช็ดมือ 25 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.6×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ 2.11 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 3.4×10^{-6} kg CO₂-eq

กระดาษทิชชู 69.12 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.5×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ 4.3549 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.9×10^{-5} kg CO₂-eq

ซิลิกาเจล 1.46 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 9.5×10^{-8} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.2223 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 2.1×10^{-8} kg CO₂-eq

และสารขาออก ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 13,603.11 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 8.8×10^{-4} ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า ซึ่งผลการบ่งชี้ฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 13,192,268 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 8.6×10^{-1} ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า ซึ่งผลการบ่งชี้ฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

ก๊าซมีเทน 6,907,951.35 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.5×10^{-1} ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า ซึ่งผลการบ่งชี้ฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

ก๊าซออกซิเจน 0 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 0 ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.4690 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลการบ่งชี้ฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

กระดาษกรองGF/C 1.30 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 8.5×10^{-8} ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.8790 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลการบ่งชี้ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.6×10^{-7} kg CO₂-eq

ผ้าปิดจมูก 2.16 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.4×10^{-7} ค่า Emission Factor เท่ากับ 7.5500 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลการบ่งชี้ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1×10^{-6} kg CO₂-eq

ถุงมือยางธรรมชาติ 22.32 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.4×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.1887 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลการบ่งชี้ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 2.8×10^{-7} kg CO₂-eq

กระดาษทิชชู 69.12 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.5×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ 4.3549 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลการบ่งชี้ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.9×10^{-5} kg CO₂-eq

ฟรอยด์ 6.72 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.3×10^{-7} ค่า Emission Factor เท่ากับ 3.2231 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลการบ่งชี้ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.4×10^{-6} kg CO₂-eq

ขวดสารเคมีสีชา 8.10 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 8.8×10^{-5} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.8289 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลการบ่งชี้ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 7.3×10^{-5} kg CO₂-eq

ตารางที่ 4.11 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณ ต่อหน่วย	ค่า EF (kg CO ₂ -eq/ หน่วย)	คาร์บอน ฟุตพริ้นท์ (kg CO ₂ -eq)	แหล่งข้อมูล อ้างอิง
สารขาเข้า						
ไฟฟ้า	1,011,086	kW-h	6.6×10^{-2}	0.6933	4.5×10^{-2}	Thai national database
น้ำกลั่น	812	kg	5.3×10^{-5}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณ ต่อหน่วย	ค่า EF (kg CO ₂ -eq/ หน่วย)	คาร์บอน ฟุตพริ้นท์ (kg CO ₂ -eq)	แหล่งข้อมูล อ้างอิง
สารขาเข้า						
ซิลเวอร์ซัลเฟต	0.72	kg	4.70×10^{-8}	1.9272	9.1×10^{-8}	Thai national database
โพแทสเซียม คลอไรด์	3.6	kg	2.35×10^{-7}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
บัฟเฟอร์ pH4.01	6.24	kg	4.07×10^{-7}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
บัฟเฟอร์ pH7.00	6.24	kg	4.07×10^{-7}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
บัฟเฟอร์ pH10.0	6.24	kg	4.07×10^{-7}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
Pepsin/HCL	3.36	kg	2.19×10^{-7}	0.8709	1.9×10^{-7}	Thai national database
เมอร์คิวรี ซัลเฟต	1.56	kg	1.01×10^{-7}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
solution COD 500 mg/l	0.4	kg	2.61×10^{-8}	1.9720	5.2×10^{-8}	Thai national database
solution COD 5000 mg/l	0.3	kg	2.0×10^{-8}	1.9720	3.9×10^{-8}	Thai national database
โพแทสเซียม ไดโครเมต	3.36	kg	2.19×10^{-7}	1.9272	4.23×10^{-7}	Thai national database
โซเดียม ไฮดรอกไซด์	2	kg	5.63×10^{-3}	1.1148	1.45×10^{-7}	Thai national database
กรดซัลฟูริก	33.48	kg	2.18×10^{-6}	0.1219	2.66×10^{-7}	Thai national database
ผ้าปิดจมูก	2.16	kg	1.41×10^{-7}	7.5500	1.06×10^{-6}	Thai national database

ตารางที่ 4.11 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณต่อหน่วย	ค่า EF (kg CO ₂ -eq/ หน่วย)	คาร์บอน ฟุตพริ้นท์ (kg CO ₂ -eq)	แหล่งข้อมูล อ้างอิง
กระดาษกรอง GF/C	1	kg	7.19×10^{-8}	1.8790	1.35×10^{-7}	Thai national database
ถุงมือยาง ธรรมชาติ	22.32	kg	1.45×10^{-6}	0.1887	2.75×10^{-7}	Thai national database
ฟรอยด์	6.72	kg	4.39×10^{-7}	3.2251	1.4×10^{-6}	Thai national database
ผ้าเช็ดมือ	25	kg	1.63×10^{-6}	2.11	3.44×10^{-6}	Thai national database
กระดาษทิชชู	69.12	kg	4.51×10^{-6}	4.3549	1.96×10^{-5}	Thai national database
ซิลิกาเจล	1.46	kg	9.54×10^{-8}	0.223	2.12×10^{-8}	Thai national database
สารขาออก						
ก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์	13,603.11	kg	8.89×10^{-4}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์	13,192.26	kg	8.62×10^{-1}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
ก๊าซมีเทน	6,907.951	kg	4.52×10^{-1}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
ก๊าซออกซิเจน	0	kg	0	0.4690	ไม่พบค่า	-
ผ้าปิดจมูก	2.16	kg	1.41×10^{-7}	7.5500	1.06×10^{-6}	Thai national database
ถุงมือยาง ธรรมชาติ	22.32	kg	1.46×10^{-6}	0.1887	2.75×10^{-7}	Thai national database
กระดาษทิชชู	69.12	kg	4.52×10^{-6}	4.3549	1.96×10^{-5}	Thai national database

ตารางที่ 4.11 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณต่อหน่วย	ค่า EF (kg CO ₂ -eq/ หน่วย)	คาร์บอน ฟุตพริ้นท์ (kg CO ₂ -eq)	แหล่งข้อมูล อ้างอิง
ฟรอยด์	6.72	kg	4.39×10^{-7}	3.2231	1.42×10^{-6}	Thai national database
ขวดสารเคมี สีชา	8.1	kg	8.84×10^{-5}	0.8289	7.32×10^{-5}	Thai national database
รวม	4.5×10^{-2}					

ขั้นตอนน้ำเสียถูกบำบัดขั้นสุดท้าย โดยทำการคำนวณดังแสดงตารางที่ 4.12 ปริมาณการย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำเสียในรูปของ BOD, COD น้ำเสียไหลโดยแรงโน้มถ่วงไปยังบ่อปรับเสถียรต่อไป โดยน้ำเสียที่ไหลออกจากระบบมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 6.35×10^{-1} kg CO₂-eq ไม่คิดในส่วนของค่า BOD, COD เนื่องจากเป็นการบำบัดน้ำเสียช่วยสิ่งแวดล้อมแล้ว ผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการนี้เท่ากับ 6.35×10^{-1} kg CO₂-eq รายละเอียดการคำนวณสารขาเข้าคือ

BOD 77,763.21 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 5.08×10^{-3} ค่า Emission Factor พบว่าไม่พบค่า ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบค่า ไม่พบค่า

COD 461,395.04 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 3.01×10^{-2} ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบค่าไม่พบค่า

น้ำเสีย 7,776,321 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 0.50×10^{-1} ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.25 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 6.31×10^{-1} kg CO₂-eq

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ 15,297,157 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณ/FU เท่ากับ 1 ค่า Emission Factor พบค่า ไม่พบค่า ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบค่า ไม่พบค่า

ตารางที่ 4.12 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการน้ำเสียถูกบำบัดขั้นสุดท้าย

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณต่อหน่วย	ค่า EF (kg CO ₂ -eq/หน่วย)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kg CO ₂ -eq)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
สารขาออก						
BOD	77763.21	kg	5.08×10^{-3}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
COD	461395.046	kg	3.02×10^{-2}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
น้ำเสีย	57,776,321	kg	3.39×10^{-1}	1.25	6.31×10^{-1}	IPCC (2006) Chapter 6
ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	15297157	m ³	1	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	Thai national database
รวม	6.31×10^{-1}					

ขั้นตอนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยทำการคำนวณดังแสดงตารางที่ 4.13 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ช่วยลดการกักตร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 2.9×10^{-3} kg CO₂-eq ผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการนี้เท่ากับ 4.0×10^{-3} kg CO₂-eq รายละเอียดการคำนวณสารขาเข้าคือ

ก๊าซชีวภาพ 6,174,314 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.43×10^{-1} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.6849 kg CO₂-eq/หน่วย ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 3.0×10^{-1} kg CO₂-eq

สารขาออก ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 91,603.45 กิโลกรัมปริมาณ/FU เท่ากับ 6.59×10^{-3} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.6849 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1, คาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 2.9×10^{-3} kg CO₂-eq

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0 กิโลกรัม ปริมาณ/FU พบว่า ไม่พบค่า, ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบค่า ไม่พบค่า

น้ำเสีย 61,880 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.45×10^{-3} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.1359 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วน เท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 6.04×10^{-4} kg CO₂-eq

ถูมิเดีย 4,200 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 3.02×10^{-4} ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.6170 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 4.88×10^{-4} kg CO₂-eq

ตารางที่ 4.13 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณต่อ หน่วย	ค่า EF (kg CO ₂ -eq/ หน่วย)	คาร์บอน ฟุตพริ้นท์ (kg CO ₂ -eq)	แหล่งข้อมูล อ้างอิง
สารขาเข้า						
ก๊าซชีวภาพ	6174314	m ³	4.43×10^{-1}	0.6849	3.0×10^{-1}	จากงานวิจัยนี้
สารขาออก						
ก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์	91,603.4	kg	6.59×10^{-3}	0.4529	2.9×10^{-3}	Thai national database
ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์	11,903.2 03	kg	ไม่พบค่า	1	ไม่พบค่า	Thai national database
ลูกลมีเดีย	4,200	kg	3.02×10^{-4}	1.6170	4.88×10^{-4}	Thai national database
น้ำเสีย	61,880	m ³	4.45×10^{-3}	0.1359	6.04×10^{-4}	Thai national database
รวม	3.0×10^{-1}					

ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า โดยทำการคำนวณดังแสดงตารางที่ 4.14 จำนวนทั้งวัตถุดิบที่เข้ามา สารขาเข้า และสารขาออก ไปจนถึงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพบริเวณปลายปล่อง ที่ส่งผลกระทบไปยังชั้นบรรยากาศของโลก การเผาไหม้ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 6.12×10^{-1} kg CO₂-eq รองลงมาเป็นไฟฟ้า เท่ากับ 3.3×10^{-2} kg CO₂-eq รองลงมาเป็นน้ำหล่อเย็น 5.2×10^{-3} kg CO₂-eq ผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการนี้ เท่ากับ 6.59×10^{-1} kg CO₂-eq/1 kWh รายละเอียดการคำนวณสารขาเข้า คือ

ก๊าซชีวภาพ 6,174,314 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.43×10^{-1} ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า ซึ่งผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

ไฟฟ้า 674,057 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.84×10^{-2} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.6933 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 3.36×10^{-2} kg CO₂-eq

ถุงมือ(ผ้าฝ้าย) 50 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 3.59×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ 2.11 kg CO₂-eq/หน่วย, ป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 7.59×10^{-6} kg CO₂-eq

แบตเตอรี่ 280 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.01×10^{-5} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.07 kg CO₂-eq/หน่วย, ป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.41×10^{-6} kg CO₂-eq

ประเก็น 1.2 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 8.62×10^{-8} ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.6382 kg CO₂-eq/หน่วย, ป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.41×10^{-7} kg CO₂-eq

น้ำมันเครื่อง 5,824 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.18×10^{-4} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.8319 kg CO₂-eq/หน่วย, ป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 3.48×10^{-4} kg CO₂-eq

Flex ขนาดเล็ก 4.52 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 3.25×10^{-7} ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.6382 kg CO₂-eq/หน่วย, ป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 5.32×10^{-7} kg CO₂-eq

สายพาน 21.06 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.51×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ 3.5158 kg CO₂-eq/หน่วย, ป็นส่วน เท่ากับ1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 5.32×10^{-6} kg CO₂-eq

หัวเทียน 4 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.87×10^{-7} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.21 kg CO₂-eq/หน่วย, ป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 6.04×10^{-8} kg CO₂-eq

น้ำหล่อเย็น 23,679 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.70×10^{-3} ค่า Emission Factor เท่ากับ 3.0985 kg CO₂-eq/หน่วย, ป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 5.28×10^{-3} kg CO₂-eq

ไส้กรองอากาศ 240 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.72×10^{-5} ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.4100 kg CO₂-eq/หน่วย, ป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 2.43×10^{-5} kg CO₂-eq

ไส้กรองน้ำมัน 85.12 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 6.12×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ 2.1300 kg CO₂-eq/หน่วย, ป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 1.30×10^{-5} kg CO₂-eq

ผ้ากรอง 6 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.31×10^{-7} ค่า Emission Factor เท่ากับ 0 kg CO₂-eq/หน่วย, ป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 0 kg CO₂-eq

ผ้าเช็ดมือ 122 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 8.77×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ 2.1100 kg CO₂-eq/หน่วย, ป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 1.85×10^{-5} kg CO₂-eq

โอริงค์ 0.96 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 6.90×10^{-8} ค่า Emission Factor เท่ากับ $3.5138 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$, เป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ $2.43 \times 10^{-7} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

จารบี 29 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.08×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ $1.0547 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$, เป็นส่วนเท่ากับ 1, ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ $2.20 \times 10^{-6} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

สารขาออก คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 1,081.52 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 7.78×10^{-5} , ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 8,602,960.8 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 6.19×10^{-1} ค่า Emission Factor เท่ากับ $1 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ $6.19 \times 10^{-1} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 17,863.47 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.28×10^{-3} , ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 8,963 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 6.45×10^{-5} , ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

ก๊าซออกซิเจน 202,139,499 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.22×10^{-5} , ค่า Emission Factor พบว่า ไม่พบค่า, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า ไม่พบค่า

ขวดน้ำกลั่น 17 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.22×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ $3.7700 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ $4.60 \times 10^{-6} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

ถุงมือ(ผ้าฝ้าย) 50 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 3.6×10^{-6} ค่า Emission Factor เท่ากับ $2.1100 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ $7.58 \times 10^{-6} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

อุปกรณ์ป้องกันเสียง 3.6 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.59×10^{-7} ค่า Emission Factor เท่ากับ $2.1000 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ $5.43 \times 10^{-7} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

หัวเทียน 4 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.88×10^{-7} , ค่า Emission Factor เท่ากับ $0.21 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ $6.04 \times 10^{-8} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

แบตเตอรี่ 280 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.01×10^{-5} , ค่า Emission Factor เท่ากับ $0.07 \text{ kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}$, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ $1.40 \times 10^{-6} \text{ kg CO}_2\text{-eq}$

เศษผ้าเช็ดมือ 122 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 8.77×10^{-6} , ค่า Emission Factor เท่ากับ 2.1100 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 1.85×10^{-5} kg CO₂-eq

น้ำมันเครื่อง 5,824 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.19×10^{-4} , ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.8319 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 3.48×10^{-4} kg CO₂-eq

ถังน้ำมันเครื่อง 476 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 3.42×10^{-5} , ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.3493 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 1.19×10^{-5} kg CO₂-eq

ไอน้ำระเหย 12,540 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณ/FU เท่ากับ 9.02×10^{-4} , ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.0012 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 1.08×10^{-6} kg CO₂-eq

ไส้กรองอากาศ 240 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.73×10^{-5} , ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.4100 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 2.43×10^{-5} kg CO₂-eq

ไส้กรองน้ำมัน 85.12 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 6.12×10^{-6} , ค่า Emission Factor เท่ากับ 2.13 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 1.30×10^{-5} kg CO₂-eq

ผ้ากรอง 6 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 4.31×10^{-7} , ค่า Emission Factor เท่ากับ 2.1100 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 9.10×10^{-7} kg CO₂-eq

สายพาน 21.1 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 1.51×10^{-6} , ค่า Emission Factor เท่ากับ 3.5158 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 5.32×10^{-6} kg CO₂-eq

flex ขนาดเล็ก 4.52 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 3.25×10^{-7} , ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.6382 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 5.32×10^{-7} kg CO₂-eq

โอริงค์ 1 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 6.90×10^{-8} , ค่า Emission Factor เท่ากับ 3.5138 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 2.42×10^{-7} kg CO₂-eq

จารบี 29 กิโลกรัม ปริมาณ/FU เท่ากับ 2.09×10^{-6} , ค่า Emission Factor เท่ากับ 1.0547 kg CO₂-eq/หน่วย, เป็นส่วนเท่ากับ 1 ผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 2.19×10^{-6} kg CO₂-eq

ตารางที่ 4.14 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตไฟฟ้า

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณต่อ หน่วย	ค่า EF (kg CO ₂ -eq/ หน่วย)	คาร์บอน ฟุตพริ้นท์ (kg CO ₂ -eq)	แหล่งข้อมูล อ้างอิง
สารขาเข้า						
ก๊าซชีวภาพ	6174314	m ³	4.43×10^{-1}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
ไฟฟ้า	674057.44	kW-h	4.84×10^{-2}	0.6933	3.36×10^{-2}	Thai national database
ถุงมือ(ผ้าฝ้าย)	50	kg	3.59×10^{-6}	2.11	7.59×10^{-6}	Thai national database
แบตเตอรี่	280	kg	2.01×10^{-5}	0.07	1.41×10^{-6}	Thai national database
ประเก็น	1.2	kg	8.62×10^{-8}	1.6382	1.41×10^{-7}	Thai national database
น้ำมันเครื่อง	5,824	kg	4.18×10^{-4}	0.8319	3.48×10^{-4}	Thai national database
Flex ขนาด เล็ก	4.52	kg	3.25×10^{-7}	1.6382	5.32×10^{-7}	Thai national database
สายพาน	21.06	kg	1.51×10^{-6}	3.5158	5.32×10^{-6}	Thai national database
หัวเทียน	4	kg	2.87×10^{-7}	0.2100	6.04×10^{-8}	Thai national database
น้ำหล่อเย็น	23,679	kg	1.70×10^{-3}	3.0985	5.28×10^{-3}	Thai national database
ไส้กรอง อากาศ	240	kg	1.72×10^{-5}	1.4100	2.43×10^{-5}	Thai national database
ไส้กรอง น้ำมัน	85.12	kg	6.12×10^{-6}	2.1300	1.30×10^{-5}	Thai national database
ผ้ากรอง	6	kg	4.31×10^{-7}	2.1100	9.1×10^{-7}	Thai national database
ผ้าเช็ดมือ	122	kg	8.77×10^{-6}	2.1100	1.85×10^{-5}	Thai national database

ตารางที่ 4.14 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณ ต่อหน่วย	ค่า EF (kg CO ₂ -eq/ หน่วย)	คาร์บอน ฟุตพริ้นท์ (kg CO ₂ -eq)	แหล่งข้อมูล อ้างอิง
โอริงค์	0.96	kg	6.90×10^{-8}	3.5138	2.43×10^{-7}	Thai national database
จารบี	29	kg	2.08×10^{-6}	1.0547	2.20×10^{-6}	Thai national database
สารขาออก						
ก๊าซคาร์บอน มอนอกไซด์	1,081.52	kg	7.78×10^{-5}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์	8,602,960	kg	6.19×10^{-1}	1	6.19×10^{-1}	Thai national database
ก๊าซ ไนโตรเจน ไดออกไซด์	17,863.47	kg	1.28×10^{-3}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
ก๊าซซัลเฟอร์ ไดออกไซด์	8,963.9	kg	6.45×10^{-4}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
ก๊าซ ออกซิเจน	202,139,499	kg	1.22×10^{-5}	ไม่พบค่า	ไม่พบค่า	-
ไฟฟ้าที่ผลิต ได้	13,907,013	kW-h	0	0.6933	0	Thai national database
ขวดน้ำกลั่น	17	kg	1.22×10^{-6}	3.7700	4.60×10^{-6}	Thai national database
ถุงมือ(ผ้า ฝ้าย)	50	kg	3.60×10^{-6}	2.110	7.58×10^{-6}	Thai national database
อุปกรณ์ ป้องกันเสียง	3.6	kg	2.59×10^{-7}	2.1000	5.44×10^{-7}	Thai national database
หัวเทียน	4.0	kg	2.88×10^{-7}	0.21	6.04×10^{-8}	Thai national database

ตารางที่ 4.14 ค่าการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณ ต่อหน่วย	ค่า EF (kg CO ₂ -eq/ หน่วย)	คาร์บอน ฟุตพริ้นท์ (kg CO ₂ -eq)	แหล่งข้อมูล อ้างอิง
แบตเตอรี่	280	kg	2.01×10^{-5}	0.0700	1.40×10^{-6}	Thai national database
เศษผ้าเช็ดมือ	122	kg	8.77×10^{-6}	2.11	1.85×10^{-5}	Thai national database
น้ำมันเครื่อง	5,1824	kg	4.18×10^{-4}	0.8319	3.48×10^{-4}	Thai national database
ถึง น้ำมันเครื่อง	476	kg	3.42×10^{-5}	0.3493	1.19×10^{-5}	Thai national database
ไอน้ำระเหย	12,540	m ³	9.02×10^{-4}	0.0012	1.08×10^{-6}	Thai national database
ใส่กรอง อากาศ	240	kg	1.73×10^{-5}	1.4100	2.43×10^{-5}	Thai national database
ใส่กรอง น้ำมัน	85.12	kg	6.12×10^{-6}	2.1300	1.30×10^{-5}	Thai national database
ผ้ากรอง	6	kg	4.31×10^{-7}	2.1100	9.10×10^{-7}	Thai national database
สายพาน	21.1	kg	1.51×10^{-6}	3.5158	5.32×10^{-6}	Thai national database
Flex ขนาด เล็ก	4.52	kg	3.25×10^{-7}	1.6382	5.32×10^{-7}	Thai national database
โอริงค์	1.0	kg	6.90×10^{-8}	3.5138	2.42×10^{-7}	Thai national database
จารบี	29	kg	2.09×10^{-6}	1.0547	2.19×10^{-6}	Thai national database
รวม	6.58×10^{-1}					

จากผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถบอกปริมาณในแต่ละขั้นตอนได้ ดังตารางที่ 4.15 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้า

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

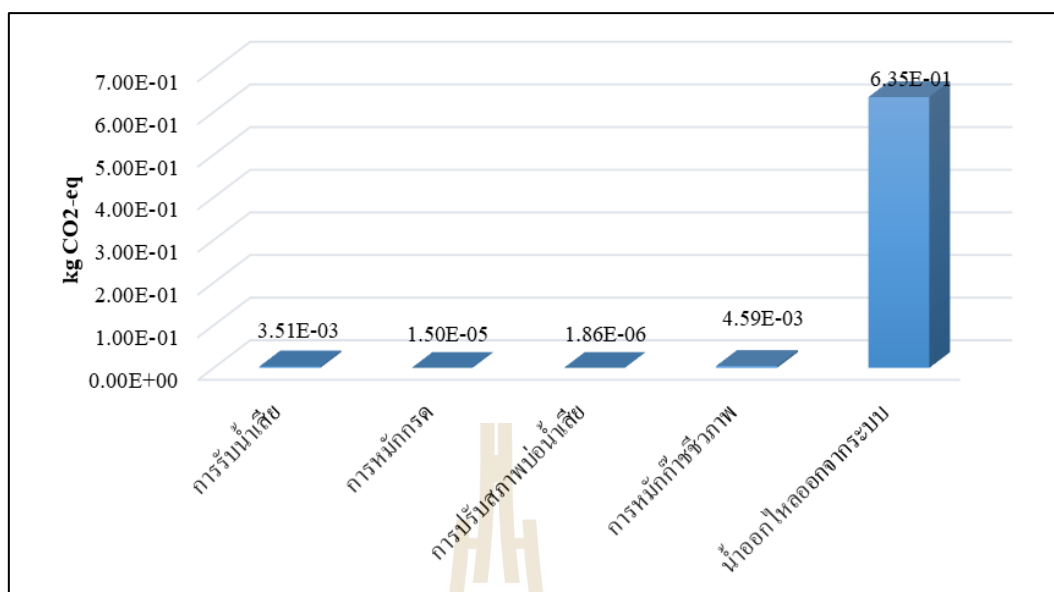
- 1) ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดกระบวนการ เท่ากับ $0.6849 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$
- 2) ขั้นตอนน้ำออกจากกระบวนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ $0.6350 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$ คิดเป็น 98.76% ของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
- 3) น้ำเสียออกจากกระบวนการ ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ $0.6354 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$ คิดเป็น 92.77% รองลงมา คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ $0.0458 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$ คิดเป็น 6.68% และรองลงมา คือ เศษเปลือกมัน ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ $0.0030 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^3$ คิดเป็น 0.44 %

กระบวนการผลิตไฟฟ้า สรุปผลได้ดังนี้

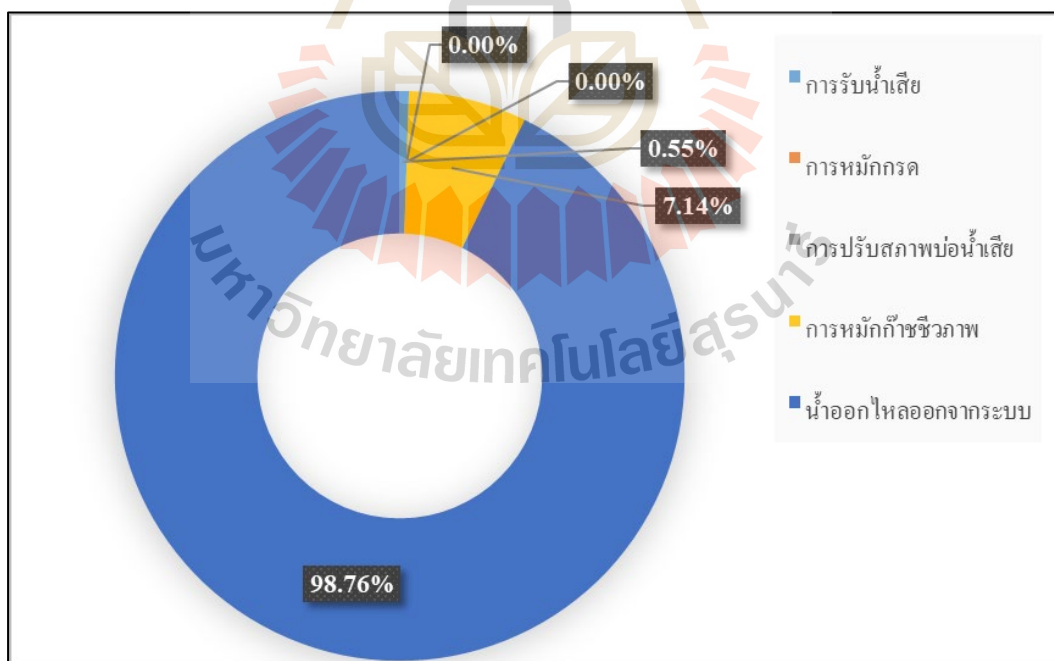
- 1) ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดกระบวนการเท่ากับ $0.9665 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kWh}$
- 2) ขั้นตอนผลิตไฟฟ้าปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ $0.6583 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kWh}$ คิดเป็น 68.11% ของกระบวนการผลิตไฟฟ้า
- 3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ $0.6186 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kWh}$ คิดเป็น 64.00% รองลงมา คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ $0.033 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kWh}$ คิดเป็น 3.47% และรองลงมา คือ น้ำหล่อเย็น ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ $0.0052 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kWh}$ คิดเป็น 0.53%

ตารางที่ 4.15 ผลการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยตั้งแต่ต้นทางไปยังปลายทาง

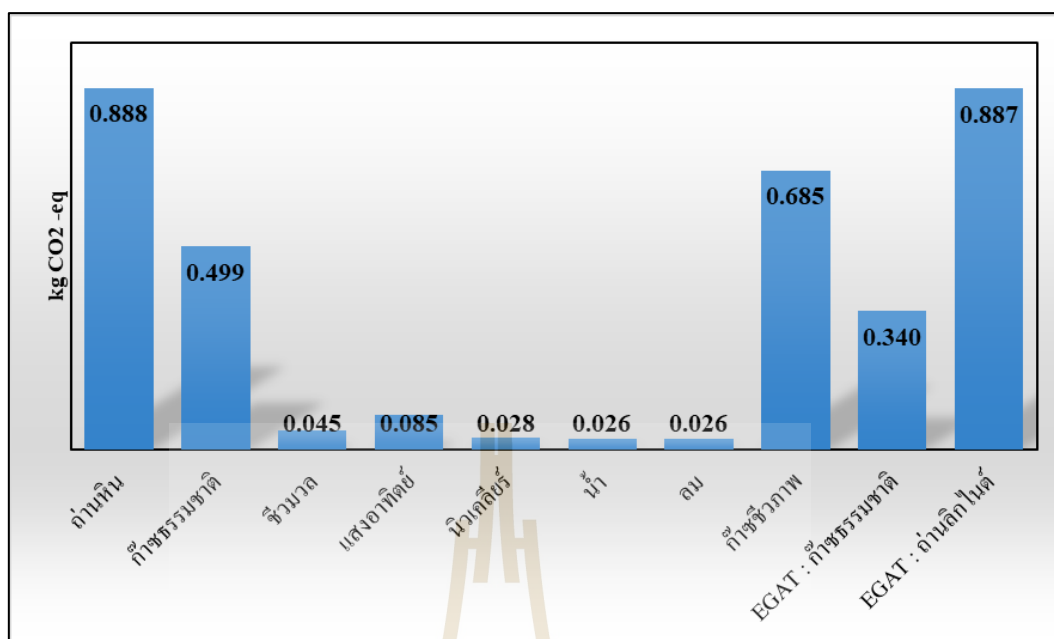
กระบวนการทำกิจกรรม	ผลการรับอนุพัตรพรีนั (kg CO ₂ -eq/หน่วย)
กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ	6.84×10^{-1}
กระบวนการผลิตไฟฟ้า	9.66×10^{-1}



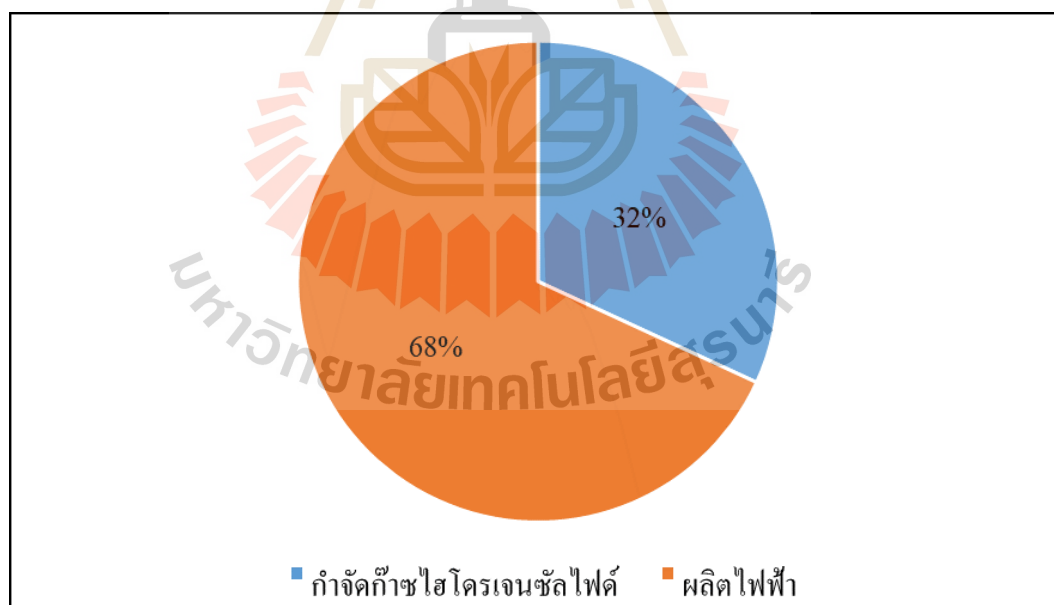
รูปที่ 4.3 ผลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบ่อบีคแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง



รูปที่ 4.4 เปอร์เซนต์ของแต่ละกระบวนการของการผลิตก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าแต่ละเทคโนโลยี



รูปที่ 4.6 ผลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตไฟฟ้า

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศตัดแปลงและโรงไฟฟ้านั้น เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูล ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต รวมทั้งผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการที่เกิดขึ้น โดยการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิจากแผนกต่างๆ โดยการสอบถามจากหน่วยงานจริง เช่น แผนกจัดซื้อ แผนก สโตร์ แผนก กระบวนการผลิต เป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 และนำมาจัดทำข้อมูลทุติยภูมิ โดยทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของก๊าซชีวภาพ 1 m^3 และผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ผลการศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า ขั้นตอนน้ำเสียผ่านการบำบัดขั้นสุดท้าย มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ $0.6354 \text{ kg CO}_2\text{-eq/ m}^3$ รวมทั้งกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด $0.6849 \text{ kg CO}_2\text{-eq/ m}^3$ ผลที่ศึกษาได้มีค่ามากกว่างานวิจัยของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบีขนาดเล็ก ซึ่งเท่ากับ $0.544 \text{ kg CO}_2\text{-eq/ m}^3$ (สุรเชษฐ์ กล้าณรงค์, 2557) และหากน้ำเสียที่เกิดขึ้นไม่ได้ผ่านการบำบัดจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพแล้วนั้น มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ $2.541 \text{ kg CO}_2\text{-eq/ m}^3$ ซึ่งถือได้ว่ากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศ สามารถช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 26.95% สุดท้ายเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งกระบวนการ เท่ากับ 1,011,086 kWh/year เมื่อสามารถลดการอนุรักษ์พลังงานได้ 1 % จะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ $0.6386 \text{ kg CO}_2\text{-eq/ m}^3$ สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 7.3%

ผลการศึกษากระบวนการผลิตไฟฟ้าพบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ $0.6186 \text{ kg CO}_2\text{-eq/ kWh}$ รวมทั้งกระบวนการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ $0.9665 \text{ kg CO}_2\text{-eq/ kWh}$ ซึ่งถือได้ว่าผลการศึกษาได้น้อยกว่ากระแสไฟฟ้าจากสายส่ง เท่ากับ $0.6933 \text{ kg CO}_2\text{-eq/ kWh}$

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศตัดแปลงและโรงไฟฟ้า โดยการศึกษาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต รวมทั้งผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการที่เกิดขึ้น โดยการรวบรวมข้อมูล เป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมที่เกิดขึ้นของกระบวนการผลิต

ผลการศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่า ขั้นตอนน้ำออกจากระบบ มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ $0.6354 \text{ kg CO}_2\text{-eq/ m}^3$ รวมทั้งกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด $0.6849 \text{ kg CO}_2\text{-eq/1 m}^3$

ผลการศึกษากระบวนการผลิตไฟฟ้าพบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ $0.6186 \text{ kg CO}_2\text{-eq/1 kWh}$ รวมทั้งกระบวนการผลิตไฟฟ้า เท่ากับ $0.9665 \text{ kg CO}_2\text{-eq/1 kWh}$

จากผลการศึกษาสามารถเสนอมาตรการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตได้ 2 มาตรการ คือ

1. การใช้ลดพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ $4.59 \times 10^{-4} \text{ kg CO}_2\text{-eq/ 1\% kWh}$ ของที่ลดลง

2. ปรับการบำบัดน้ำเสียที่ไหลออกจากระบบเพื่อนำไปบำบัดในขั้นตอนสุดท้าย เป็นเลือกใช้การบำบัดแบบบ่อดิน สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 24.99 % หรือ $1.9063 \text{ kg CO}_2\text{-eq/ m}^3$

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการประเมินครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ควรนำเสนอต่อผู้บริหารของบริษัท

2. ควรมีการศึกษาคาร์บอนเครดิตที่ได้จากการการบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากหน่วยงานขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก

รายการอ้างอิง

ขนิษฐา เกิดพร วรินทร์ หวังจิรนิรันดร์ และ อัจฉริยา สุริวงค์ (2556). ศักยภาพการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งานเทคโนโลยี ECOARC ในอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางในประเทศไทย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน พิมพ์ครั้งที่ 1 มกราคม 2554.

จักรพงษ์ เข้มยิม (2553). การเปรียบเทียบวิธีการประเมินก๊าซเรือนกระจกในเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพด้วยกลไกพัฒนาที่สะอาดและการประเมินวัฏจักรชีวิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชนาภา วรรณศรี (2551). ศึกษาความเหมาะสมในการนำเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้กระถินยักษ์เป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงานบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธารินี บัวดิษฐ์ (2555). การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Oxidation Pond และ Extend Aeration Sludge, มหาวิทยาลัยมหิดลสาธิต.

ธีรนนท์ ฤทธิมณี (2551). ประเมินวัฏจักรชีวิตโดยนำมาใช้การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าในโรงงานพลังงานไฟฟ้าความร้อนร่วมในประเทศไทยโดยใช้เทคนิค LCA-NETS. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิตยา ศิริวัน และชลิตา สุวรรณ (2559). คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จากผ้าบาติก. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมปีที่ 12 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2559.

แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร โครงการส่งเสริมการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรกฎาคม 2554.

พรธิดา เทพประสิทธิ์ (2551). การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าชีวมวล, มหาวิทยาลัยมหิดลสาธิต.

พงษ์พันธุ์ วิเศษแก้ว (2556). การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการจัดการน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลเพื่อใช้ตรงพื้นที่การเกษตร. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น..

มธุรส อรรถศรี และวิโรจน์ ภัทรจินดา(2556), กรณีศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในฟาร์มโคนมจังหวัดขอนแก่น, **แก่นเกษตร 41 ฉบับพิเศษ 1.**

ยุทธพงศ์ พันธุ์มณีและคณะ (2556). ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่งทางบก กรณีศึกษา คือ สหกรณ์การเดินรถโดยสารจังหวัดแพร่, **มหาวิทยาลัยมหิดลสาธิต.**

วรยุทธ สายบัวตรง (2554). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมไบโอดีเซลของประเทศไทยกับศักยภาพการส่งออกไปสหภาพยุโรป. การประชุมวิชาการนานาชาติ วิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21.

ศุภโชค ตาปนานนท์, แนวทางการประยุกต์ใช้ LCI/LCA ในการจัดทำฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านกลยุทธ์ธุรกิจที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรเชษฐ์ กล้าณรงค์ (2556). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ กรณีศึกษา ระบบยูเอเอสขนาดเล็ก วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. หน้า 85-87.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรที่ 8. ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช.

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการใช้งานก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.**

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2555). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ภายใต้โครงการส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก

อาภา หวังเกียรติ (2548). อุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้นและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก. **สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต.**

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2550). ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://thaicarbonlabel.tgo.or.th>. เข้าดูเมื่อวันที่ 17/4/2561.

Biogas Engine Emission: Standard and On-Site Measurement. (2007) **Science Direct 72nd** Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2017, 6-8 September 2017, Lecce, Italy.

Feasibility of a Dual-Fuel Engine Fuelled with Waste Veget Oil and Organic Fraction for Power Generation in Urban Areas (2012), Research Article, Hindawi Publishing Corporation

Journal of Combustion.

Gyory Szabo, Istvan Fazekas, Szabo, Gergely Szabo, Tamas Buday, Monika Paladi, Krisztian Kisari, Attila Kerenyi. (2014). The carbon footprint of a biogas powerplant.

Environmental Engineering and Management Journal. 11: xxxx-xxxx (2013).

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. **The National Greenhouse gas inventories programmer**, Institute for Global Environmental Strategies (IGES); Hayama, Japan; 2006.





ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ ก.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้า (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) ประจำปี
พ.ศ. 2560

เดือน	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์)
มกราคม	144,684.00
กุมภาพันธ์	144,156.00
มีนาคม	180,612.00
เมษายน	132,336.00
พฤษภาคม	157,368.00
มิถุนายน	137,124.00
กรกฎาคม	135,720.00
สิงหาคม	127,848.00
กันยายน	120,984.00
ตุลาคม	126,564.00
พฤศจิกายน	132,204.00
ธันวาคม	149,544.00

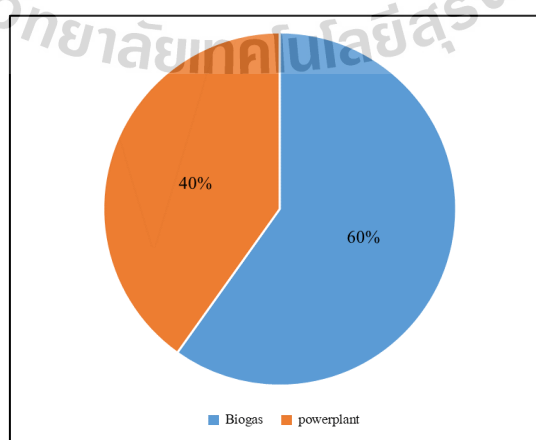
ซึ่งสามารถแบ่งการใช้ไฟฟ้าจากทั้งหมด 2 กิจกรรม คือ กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
และกระบวนการผลิตไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2 กิจกรรมที่มีการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต ปี พ.ศ. 2560

เดือน	กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (กิโลวัตต์)	กระบวนการผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	รวมการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์)
มกราคม	86810.4	57873.6	144,684.00
กุมภาพันธ์	86493.6	57662.4	144,156.00
มีนาคม	108367	72244.8	180,612.00
เมษายน	79401.6	52934.4	132,336.00
พฤษภาคม	92020.8	61347.2	157,368.00
มิถุนายน	82274.4	54849.6	137,124.00
กรกฎาคม	81432	54288	135,720.00
สิงหาคม	76708.8	51139.2	127,848.00
กันยายน	72590.4	48393.6	120,984.00
ตุลาคม	75938.4	50625.6	126,564.00
พฤศจิกายน	79322.4	52881.6	132,204.00
ธันวาคม	89726.4	59817.6	149,544.00

ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณไฟฟ้าทั้ง 2 กิจกรรมมีการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 1,685,144 กิโลวัตต์ แบ่งออกเป็นกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,011,086 กิโลวัตต์ และกระบวนการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 674,058 กิโลวัตต์



รูปที่ ก.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากกิจกรรมผลิตก๊าซชีวภาพและผลิตไฟฟ้า



ตัวอย่างการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากสูตรสมการคำนวณ

$$\begin{array}{ccccc} \text{ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรม} & = & \text{ข้อมูลกิจกรรม} & \times & \text{ค่าสปส. ของกิจกรรม} \\ (\text{kg CO}_2\text{-eq}) & & (\text{หน่วย}) & & (\text{kg CO}_2\text{-eq/หน่วย}) \end{array}$$

1) กระบวนการรับน้ำเสีย

ประเมินเฉพาะสารขาออก คือ เศษเปลือกมัน 960,000 kg

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เท่ากับ 15,297,157 m³

Functional Unit (FU) คือ เศษเปลือกมัน/ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ (ในระยะเวลา 1 ปี) ต่อหน่วย

1 m³ Biogas

วิธีทำ ปริมาณ FU = 960,000 kg / 15,297,157 m³ = 0.068

ค่า Emissions Factor = 0.0488 kg CO₂-eq./หน่วย

ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ = ปริมาณ FU × EF

ดังนั้น ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ = 0.00306 kg CO₂-eq

2) ก๊าซชีวภาพ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในการเผาไหม้มีเทน

ในส่วนของการใช้ก๊าซชีวภาพในขั้นตอนของการอบแห้งจะเกิดการเผาไหม้มีเทน ซึ่งจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศดังสมการการเผาไหม้มีเทน

จากสมการเผาไหม้ของมีเทน



ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้จากสูตรการคำนวณ
มวล = ความหนาแน่นของก๊าซมีเทน × ปริมาตร โดยที่ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.717 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากนั้นเทียบโมลการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์จากโมล = มวลเป็นกรัมหารด้วยมวลโมเลกุล ก็จะสามารคำนวณออกมาในรูปของกรัม คาร์บอนไดออกไซด์ได้

วิธีการคำนวณ

1) กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ

$$A(\text{mg} / \text{m}^3) = \frac{\text{Molecular Weight} \times \text{ppm}}{\text{Standard molar volume for ideal @1bar / 273.15K}} \quad (1)$$

(1) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 594 ppm แปลงเป็นหน่วยเป็นกิโลกรัม เท่ากับเท่าใด (ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เท่ากับ 15,297,157 m³/year)

$$\text{H}_2\text{S} = (34 \times 594) / 22.71108 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{H}_2\text{S} = 0.000889 \text{ kg/m}^3$$

ดังนั้น $\text{H}_2\text{S} \text{ 594 ppm} = (0.000889 \text{ kg/m}^3) \times (15,297,157 \text{ m}^3/\text{year}) = 13,603.11 \text{ kg/year}$

(2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 33.60% แปลงเป็นหน่วยเป็นกิโลกรัม เท่ากับเท่าใด (ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เท่ากับ 15,297,157 m³/year)

วิธีทำ $\text{CO}_2 = (33.60/100) \times (15,297,157 \text{ m}^3) = 5,139,844.75 \text{ m}^3/\text{year}$

นำมาคูณกับค่า Density = $(5,139,844.75 \text{ m}^3/\text{year}) \times 1.96 \text{ kg/m}^3$

ดังนั้น $\text{CO}_2 \text{ 33.60\%} = 10,074,095.7 \text{ kg/year}$

(3) ก๊าซมีเทน 63% แปลงเป็นหน่วยเป็นกิโลกรัม เท่ากับเท่าใด (ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เท่ากับ 15,297,157 m³)

วิธีทำ $\text{CH}_4 = (63/100) \times (15,297,157 \text{ m}^3) = 9,637,208.91 \text{ m}^3/\text{year}$

นำมาคูณกับค่า Density = $(9,637,208.91 \text{ m}^3/\text{year}) \times 0.7168 \text{ kg/m}^3$

ดังนั้น $\text{CH}_4 \text{ 63\%} = 6,907,951.35 \text{ kg/year}$

2) กระบวนการนำออกจากระบบ MCL

(1) BOD 15 mg/l แปลงเป็นหน่วยเป็นกิโลกรัม เท่ากับเท่าใด

วิธีทำ $\text{BOD} = (15 \text{ mg/l}) / 1000 = 0.015 \text{ kg/m}^3$

$$= (0.015 \text{ kg/m}^3) \times 5,184,214 \text{ m}^3/\text{year}$$

ดังนั้น $\text{BOD 15 mg/l} = 77,763.21 \text{ kg/year}$

(2) COD 89 mg/l แปลงเป็นหน่วยเป็นกิโลกรัม เท่ากับเท่าใด

วิธีทำ
$$\text{COD} = (89 \text{ mg/l})/1000 = 0.089 \text{ kg/m}^3$$

$$= (0.089 \text{ kg/m}^3) \times 5,184,214 \text{ m}^3/\text{year}$$

ดังนั้น
$$\text{COD } 89 \text{ mg/l} = 461,395.046 \text{ kg/year}$$

3) กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

(1) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 4 ppm แปลงเป็นหน่วยเป็นกิโลกรัม เท่ากับเท่าใด (ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เท่ากับ $15,297,157 \text{ m}^3/\text{year}$)

$$\text{H}_2\text{S} = (34 \times 4)/22.71108 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{H}_2\text{S} = 0.00598 \text{ kg/m}^3$$

ดังนั้น
$$\text{H}_2\text{S } 4 \text{ ppm} = (0.00598 \text{ kg/m}^3) \times (15,297,157 \text{ m}^3/\text{year}) = 91,603.45 \text{ kg/year}$$

(2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 39.70% แปลงเป็นหน่วยเป็นกิโลกรัม เท่ากับเท่าใด (ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เท่ากับ $15,297,157 \text{ m}^3/\text{year}$)

วิธีทำ
$$\text{CO}_2 = (39.70/100) \times (15,297,157 \text{ m}^3) = 6,072,971.33 \text{ m}^3/\text{year}$$

$$\text{นำมาคูณกับค่า Density} = (6,072,971.33 \text{ m}^3/\text{year}) \times 1.96 \text{ kg/m}^3$$

ดังนั้น
$$\text{CO}_2 \text{ } 39.70\% = 11,903.023.8 \text{ kg/year}$$

4) กระบวนการผลิตไฟฟ้า

(1) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 63.94 ppm แปลงเป็นหน่วยเป็นกิโลกรัม เท่ากับเท่าใด (ข้อมูลจากผู้ผลิต Gas Engine; Exhaust mass flow เท่ากับ $10,619 \text{ kg/h}$, Density Exhaust Gas at 450°C เท่ากับ 0.774 kg/m^3 , Volume flow rate เท่ากับ $13,719.64 \text{ m}^3/\text{h}$)

วิธีทำ ปริมาณก๊าซชีวภาพจากไอเสีย
$$= (28 \times 63.94)/22.71108 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพจากไอเสีย} = 0.07883 \text{ kg/m}^3$$

ดังนั้น ปริมาณก๊าซชีวภาพจากไอเสีย
$$= (0.07883 \text{ kg/m}^3) \times (13,719.64 \text{ m}^3/\text{h}) = 91,603.45 \text{ kg/h}$$

(2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 0.65% แปลงเป็นหน่วยเป็นกิโลกรัม เท่ากับเท่าใด (ปริมาณไอเสียเท่ากับ $13,719.64 \text{ m}^3/\text{h}$)

วิธีทำ
$$\text{CO}_2 = (0.65/100) \times (13,719.64 \text{ m}^3) = 89.177 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{นำมาคูณกับค่า Density} = (89.177 \text{ m}^3/\text{h}) \times 1.96 \text{ kg/m}^3$$

ดังนั้น
$$\text{CO}_2 \text{ } 0.65\% = 174.788 \text{ kg/h}$$

(3) ไนโตรเจนไดออกไซด์ 12.91 ppm แปลงเป็นหน่วยเป็นกิโลกรัม เท่ากับเท่าใด (ข้อมูลจากผู้ผลิต Gas Engine; Exhaust mass flow เท่ากับ 10,619 kg/h, Density Exhaust Gas at 450 °C เท่ากับ 0.774 kg/m³, Volume flow rate เท่ากับ 13,719.64 m³/h)

วิธีทำ ปริมาณก๊าซชีวภาพจากไอเสีย = $(46 \times 12.91)/22.71108 \text{ mg/m}^3$

ปริมาณก๊าซชีวภาพจากไอเสีย = 0.0261 kg/m³

ดังนั้น ปริมาณก๊าซชีวภาพจากไอเสีย = $(0.0261 \text{ kg/m}^3) \times (13,719.64 \text{ m}^3/\text{h}) = 354.747 \text{ kg/h}$

(4) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 4.66 ppm แปลงเป็นหน่วยเป็นกิโลกรัม เท่ากับเท่าใด (ข้อมูลจากผู้ผลิต Gas Engine; Exhaust mass flow เท่ากับ 10,619 kg/h, Density Exhaust Gas at 450 °C เท่ากับ 0.774 kg/m³, Volume flow rate เท่ากับ 13,719.64 m³/h)

วิธีทำ ปริมาณก๊าซชีวภาพจากไอเสีย = $(64 \times 4.66)/22.71108 \text{ mg/m}^3$

ปริมาณก๊าซชีวภาพจากไอเสีย = 0.0131 kg/m³

ดังนั้น ปริมาณก๊าซชีวภาพจากไอเสีย = $(0.0131 \text{ kg/m}^3) \times (13,719.64 \text{ m}^3/\text{h}) = 180.165 \text{ kg/h}$

(5) ออกซิเจน 21.0% แปลงเป็นหน่วยเป็นกิโลกรัม เท่ากับเท่าใด (ปริมาณไอเสียเท่ากับ 13,719.64 m³/h)

วิธีทำ $\text{O}_2 = (21/100) \times (3,719.64 \text{ m}^3) = 2,881.12 \text{ m}^3/\text{h}$

นำมาคูณกับค่า Density = $(2,881.12 \text{ m}^3/\text{h}) \times 1.43 \text{ kg/m}^3$

ดังนั้น $\text{O}_2 \text{ 0.65\%} = 4,120 \text{ kg/h}$

จากงานวิจัย Feasible of a Dual-Fuel Engine Fuelled with Waste Vegetable Oil and Municiple Organic Fraction for Power Generation in Urban Areas

กราฟ Biogas Density and Stoichiometric air fuel ratio ที่ CH₄ 61%, Density = 1.22 kg/Nm³,

Air fuel ratio = 6.2 kg/kg คำนวณ Exhaust gas total mass = 120,513.31 kg/hr

โดยหา $\text{N}_2 = 78 \times 10^{-2} \times 28 = 21.84$

$\text{O}_2 = 21 \times 10^{-2} \times 32 = 6.72$

$\text{SO}_2 = 4.66 \times 10^{-6} \times 64 = 2.98 \times 10^{-4}$

$\text{CO}_2 = 0.65 \times 10^{-2} \times 44 = 0.286$

$\text{CO} = 63.94 \times 10^{-6} \times 28 = 1.79 \times 10^{-3}$

$\text{NO}_2 = 12.91 \times 10^{-6} \times 46 = 5.9386 \times 10^{-4}$

รวมเท่ากับ 28.848

ดังนั้น มีการปลดปล่อยที่ปลายปล่องดังนี้

$$\text{N}_2 = 656,953,372 \text{ kg}$$

$$\text{O}_2 = 202,139,499 \text{ kg}$$

$$\text{SO}_2 = 8,963.9 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2 = 8,602,960.8 \text{ kg}$$

$$\text{CO} = 1,081.52 \text{ kg}$$

$$\text{NO}_2 = 17,863.47 \text{ kg}$$





ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการผลิต



รูปที่ ค.1 กระบวนการรับน้ำเสีย



รูปที่ ค.2 กระบวนการหมักกรด



รูปที่ ค.3 กระบวนการปรับสภาพน้ำเสีย



รูปที่ ค.4 กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ



รูปที่ ค.5 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



รูปที่ ค.6 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



ภาคผนวก ง

บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ ง.1 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการรับน้ำเสียจากโรงงาน

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ ต่อปี	ปริมาณต่อ หน่วย (Function Unit)	การป็น ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
สารขาเข้า								
น้ำเสียจาก โรงแป่งมัน สำปะหลัง	ตรวจวัด หน้างาน	วัดอัตราไหล (Flow meter) ทุก 1 ชั่วโมง	m ³	2,976,532	1.94×10^{-1}	-	0.00120	2.3×10^{-4}
น้ำออกจาก ระบบUASB	ตรวจวัด หน้างาน	วัดอัตราไหล (Flow meter) ทุก 1 ชั่วโมง	m ³	1,983,751	1.29×10^{-2}	-	0.00120	1.6×10^{-4}
น้ำหมักกรด จากระบบ UASB	ตรวจวัด หน้างาน	วัดอัตราไหล (Flow meter) ทุก 1 ชั่วโมง	m ³	696,233	4.5×10^{-2}	-	0.00120	5.0×10^{-3}
สารขาออกวัดอัตราไหล (Flow meter) ทุก 1 ชั่วโมง								
เศษเปลือก มัน	ตรวจวัด หน้างาน	ข้อมูลจาก ฝ่ายจัดซื้อ (ตาชั่ง) 12 เดือน	kg	960,000	6.27×10^{-2}	-	0.0488	3.06×10^{-3}
ผลิตภัณฑ์								
น้ำเสีย	ตรวจวัด หน้างาน	วัดอัตราไหล (Flow meter) ทุก 1 ชั่วโมง	m ³	5,656,516	-	-	-	-

ตารางที่ ง.2 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการหมักกรด (Acidogenesis)

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ ต่อปี	ปริมาณต่อ หน่วย (Function Unit)	การป็น ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
สารขาเข้า								
จากรปี	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การตั้งชื่อ 12 รอบบิล	kg	18	1.2×10^{-6}	-	1.0547	1.24×10^{-6}
ผ้าเช็ดมือ	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การตั้งชื่อ 12 รอบบิล	kg	50	3.26×10^{-6}	-	2.11	6.89×10^{-6}
สารขาออก								
เศษผ้า เช็ดมือ	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การตั้งชื่อ 12 รอบบิล	kg	50	3.26×10^{-2}	-	2.11	1.0×10^{-5}
ผลิตภัณฑ์								
น้ำเสีย	ตรวจวัด หน้างาน	วัดอัตราไหล (Flow meter) ทุก 1 ชั่วโมง	m ³	5,656,516	-	-	-	-

ตารางที่ ง.3 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนปรับสภาพน้ำเสีย (Mixing)

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ ต่อปี	ปริมาณต่อ หน่วย (Function Unit)	การป็น ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
สารขาเข้า								
น้ำสาเหล่า	ตรวจวัด หน้างาน	ชั่งน้ำหนัก รถบรรทุก ทั้งปี (12 เดือน)	m ³	2162.34	1.41×10^{-4}	-	0.0012	1.70×10^{-7}
น้ำคั้น เคอร์	ตรวจวัด หน้างาน	ชั่งน้ำหนัก รถบรรทุก ทั้งปี (12 เดือน)	m ³	21623.4	3.26×10^{-2}	-	0.0012	1.70×10^{-6}

ตารางที่ ง.4 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพ (Methanogenesis)

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ ต่อปี	ปริมาณต่อ หน่วย (Function Unit)	การป็น ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
สารขาเข้า								
ไฟฟ้า	ตรวจวัด หน้างาน	ทุกขั้นตอน การผลิต รวมค่าไฟฟ้า 12 รอบบิล	kWh	1011086	6.6×10^{-2}	-	0.6933	4.5×10^{-2}
ทรัพยากร								
น้ำกลั่น	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	812	5.3×10^{-5}	-	0	0
ซิลเวอร์ ซัลเฟต	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	0.72	4.70×10^{-8}	-	1.9272	9.1×10^{-8}
โพแทสเซียม คลอไรด์	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	3.6	2.35×10^{-7}	-	0	0
บัฟเฟอร์ pH4.01	ตรวจวัด หน้างาน	รวมทุก ขั้นตอน การผลิต รวมค่าไฟฟ้า 12 รอบบิล	kg	6.24	4.07×10^{-7}	-	0	0
บัฟเฟอร์ pH7.00	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	6.24	4.07×10^{-7}	-	0	0
บัฟเฟอร์ pH10.01	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	6.24	4.07×10^{-7}	-	0	0

ตารางที่ ง.4 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพ (Methanogenesis) (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ ต่อปี	ปริมาณต่อ หน่วย (Function Unit)	การป็น ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
ทรัพยากร								
Pepsin/HCL	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	3.36	2.19×10^{-7}	-	0.8709	1.9×10^{-7}
เมอร์คิวรี ซัลเฟต	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	1.56	1.01×10^{-7}	-	0	0
Standard Solution COD 500 mg/l	ตรวจวัด หน้างาน	ทุกขั้นตอน การผลิต รวมค่าไฟฟ้า 12 รอบปี	kg	0.4	2.61×10^{-8}	-	1.9720	5.2×10^{-8}
Standard Solution COD 5000 mg/l	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	0.3	1.96×10^{-8}	-	1.9720	3.9×10^{-8}
โพแทสเซียม ไดโครเมต	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	3.36	2.19×10^{-7}	-	1.9272	4.23×10^{-7}
โซเดียม ไฮดรอกไซด์	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	2	5.63×10^{-3}	-	1.1148	6.28×10^{-3}
กรดซัลฟูริก	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	33.48	2.18×10^{-6}	-	0.1219	2.66×10^{-7}
ไฟฟ้าคอก	ตรวจวัด หน้างาน	ทุกขั้นตอน การผลิต รวมค่าไฟฟ้า 12 รอบปี	kg	2.16	1.41×10^{-7}	-	7.5500	1.06×10^{-6}

ตารางที่ ง.4 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพ (Methanogenesis) (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ ต่อปี	ปริมาณต่อ หน่วย (Function Unit)	การป็น ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
กระดาษ กรอง GF/C	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	1	7.19×10^{-8}	-	1.879	1.35×10^{-7}
ถุงมือยาง ธรรมชาติ	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	22.32	1.45×10^{-6}	-	0.1887	2.75×10^{-7}
ฟรอยด์	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	6.72	4.39×10^{-7}	-	-	0
ผ้าเช็ดมือ	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	25	1.63×10^{-6}	-	2.11	3.44×10^{-6}
กระดาษทิชชู	ตรวจวัด หน้างาน	รวมทุก ขั้นตอน การผลิต รวมค่าไฟฟ้า 12 รอบปี	kg	69.12	4.51×10^{-6}	-	4.3549	1.96×10^{-5}
ซิลิกา เจล	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	1.46	9.54×10^{-8}	-	0.2223	2.12×10^{-8}
สารขาออก								
กระดาษ กรอง GF/C	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	1.3	8.5×10^{-8}	-	1.879	1.59×10^{-7}
ผ้าปิดจมูก	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	2.16	1.41×10^{-7}	-	7.5500	1.06×10^{-6}

ตารางที่ ง.4 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพ (Methanogenesis) (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณ ต่อหน่วย (Function Unit)	การปัน ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
ก๊าซ ไฮโดรเจน ซัลไฟด์	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องวัด ออนไลน์	kg	13,603.11	8.8×10^{-4}	1	0	0
ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องวัด ออนไลน์	kg	13,192,268	8.6×10^{-1}	1	0	0
ก๊าซมีเทน	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องวัด ออนไลน์	kg	6,907,951.36	4.5×10^{-1}	1	0	0
ก๊าซ ออกซิเจน	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องวัด ออนไลน์	kg	0	4.6×10^{-1}	1	0	0
ถุงมือยาง ธรรมชาติ	ตรวจวัด หน้างาน	ทุกขั้นตอน การผลิต รวมค่าไฟฟ้า 12 รอบบิล	kg	22.32	1.46×10^{-6}	-	0.1887	2.75×10^{-7}
กระดาษทิชชู	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	69.12	4.52×10^{-6}	-	4.3549	1.96×10^{-5}
พรอยด์	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	6.72	4.339×10^{-7}	-	0	0
ขวดสารเคมี	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	8.1	8.84×10^{-5}	-	0.8289	7.32×10^{-5}
ผลิตภัณฑ์								
ก๊าซชีวภาพ	ตรวจวัด หน้างาน	วัด Flow meter ทุก 1 ชั่วโมง	m ³	15,297,157	0	0	0	0

ตารางที่ ง.5 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการระบายน้ำเสียออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อ ปี	ปริมาณ ต่อหน่วย (Function Unit)	การปัน ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
สารขาเข้า								
น้ำเสีย	ตรวจวัด หน้างาน	วัดอัตราไหล (Flow meter) ทุก 1 ชั่วโมง	kg	7,776,321	5.0×10^{-1}	-	1.25	6.35×10^1
สารขาออก								
BOD	ตรวจวัด หน้างาน	ผลวิเคราะห์ 12 เดือน	kg	77763.21	5.08×10^{-3}	-	0	0
COD	ตรวจวัด หน้างาน	ผลวิเคราะห์ 12 เดือน	kg	461395.046	3.02×10^{-2}	-	0	0
ผลิตภัณฑ์								
ก๊าซชีวภาพที่ ผลิตได้	ตรวจวัด หน้างาน	วัดอัตราไหล (Flow meter) ทุก 1 ชั่วโมง	m ³	15297157	1	-	0	0

ตารางที่ ง.6 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Scrubber)

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณ ต่อหน่วย (Function Unit)	การปัน ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
สารขาเข้า								
ก๊าซชีวภาพ	ตรวจวัด หน้างาน	วัดอัตราไหล (Flow meter) ทุก 1 ชั่วโมง	m ³	6174314	4.43×10 ⁻¹	1	0.6849	3.0×10 ⁻¹
สารขาออก								
ก๊าซ ไฮโดรเจน ซัลไฟด์	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องวัด ออนไลน์	kg	91,603.45	6.59×10 ⁻³	1	0.4529	2.98×10 ⁻³
ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องวัด ออนไลน์	kg	0	0	1	1	0
น้ำเสียบ่อ circulate	ตรวจวัด หน้างาน	วัดอัตราไหล (Flow meter) ทุก 1 ชั่วโมง	m ³	61,880	4.45×10 ⁻³	1	0.1359	6.05×10 ⁻⁴
ลูกมีเดีย	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	4200	3.02×10 ⁻⁴	1	1.617	4.88×10 ⁻⁴
ผลิตภัณฑ์								
ก๊าซชีวภาพ	ตรวจวัด หน้างาน	วัดอัตราไหล (Flow meter) ทุก 1 ชั่วโมง	m ³	6174314	-	-	-	-

ตารางที่ ง.7 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ ต่อปี	ปริมาณ ต่อหน่วย (Function Unit)	การนับ ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
ทรัพยากร								
ไฟฟ้า	ตรวจวัด หน้างาน	ทุกขั้นตอน การผลิต รวมค่าไฟฟ้า 12 รอบปี	kWh	657,206	4.84×10^{-2}	1	0.6933	3.36×10^{-2}
ถุงมือผ้าฝ้าย	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	50	3.59×10^{-6}	1	2.11	7.59×10^{-6}
แบตเตอรี่	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	280	2.01×10^{-5}	1	0.07	7.59×10^{-6}
ประเก็น	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	1.2	8.62×10^{-8}	1	1.6382	1.41×10^{-7}
น้ำมันเครื่อง	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	5,824	4.18×10^{-4}	1	0.8319	3.48×10^{-4}
Flex ขนาด เล็ก	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	4.52	3.25×10^{-7}	1	1.6382	5.32×10^{-7}
สายพาน	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	21.06	1.51×10^{-6}	1	3.5158	5.32×10^{-6}
หัวเทียน	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	4	2.87×10^{-7}	1	0.21	6.04×10^{-8}

ตารางที่ ง.7 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ ต่อปี	ปริมาณ ต่อหน่วย (Function Unit)	การปัน ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
น้ำหล่อเย็น	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	m ³	23,679	1.70×10^{-3}	1	3.0985	5.28×10^{-3}
ไส้กรอง อากาศ	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	240	1.72×10^{-5}	1	1.41	2.43×10^{-5}
ไส้กรอง น้ำมัน	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	85.12	6.12×10^{-6}	1	2.13	1.30×10^{-5}
ผ้ากรอง	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	6	4.31×10^{-7}	1	0	0
ผ้าเช็ดมือ	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	122	8.77×10^{-6}	1	2.11	1.85×10^{-5}
สารขาออก								
ก๊าซคาร์บอน มอนอกไซด์	ตรวจวัด หน้างาน	หน่วยงาน ภายนอก ตรวจวัด	kg	1,081.52	7.78×10^{-5}	1	0	0
ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์	ตรวจวัด หน้างาน	หน่วยงาน ภายนอก ตรวจวัด	kg	8602960.8	6.19×10^{-1}	1	1	6.19×10^{-1}
ก๊าซ ไนโตรเจน ไดออกไซด์	ตรวจวัด หน้างาน	หน่วยงาน ภายนอก ตรวจวัด	kg	17,863.47	1.28×10^{-3}	1	0	0
ก๊าซซัลเฟอร์ ไดออกไซด์	ตรวจวัด หน้างาน	หน่วยงาน ภายนอก ตรวจวัด	kg	8,963.9	6.45×10^{-4}	1	0	0

ตารางที่ ง.7 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

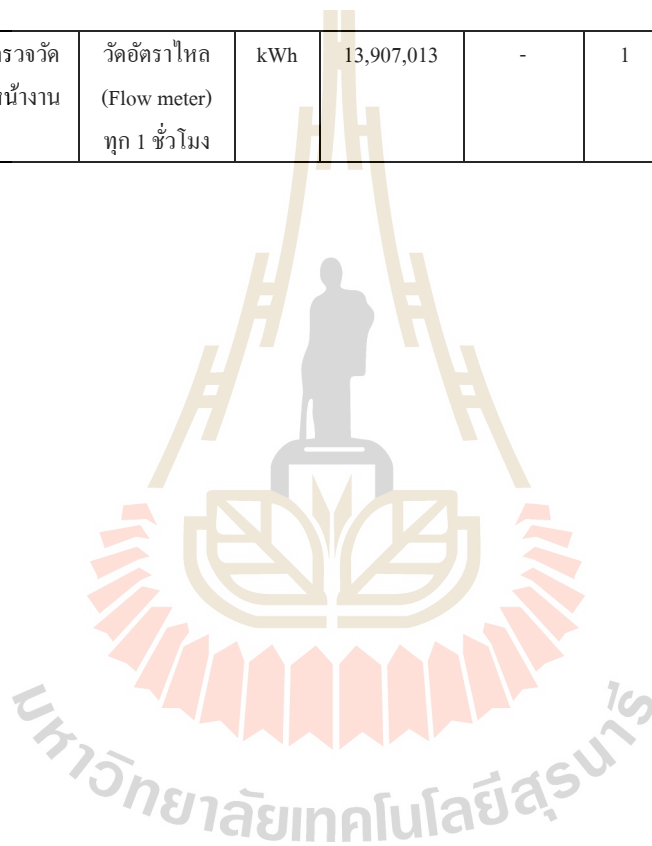
วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณ ต่อหน่วย (Function Unit)	การ ปัน ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
ก๊าซ ออกซิเจน	ตรวจวัด หน้างาน	หน่วยงาน ภายนอก ตรวจวัด	kg	202,139,499	14.53	1	0	0
ขวดน้ำกลั่น	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	17	1.22×10^{-6}	1	3.77	4.60×10^{-6}
ถุงมือ (ผ้าฝ้าย)	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	50	3.60×10^{-6}	1	2.11	7.58×10^{-6}
อุปกรณ์ ป้องกันเสียง	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	3.6	2.59×10^{-7}	1	2.1	5.44×10^{-7}
หัวเทียน	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	4	2.88×10^{-7}	1	0.21	6.04×10^{-8}
แบตเตอรี่	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	280	2.01×10^{-5}	1	0.07	1.40×10^{-6}
เศษผ้าเช็ดมือ	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	122	8.77×10^{-6}	1	2.11	1.85×10^{-5}
น้ำมันเครื่อง	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	5824	4.19×10^{-4}	1	0.8319	0.0034
ถัง น้ำมันเครื่อง	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	476	3.42×10^{-5}	1	0.3493	1.19×10^{-5}

ตารางที่ ง.7 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณ ต่อหน่วย (Function Unit)	การ ปัน ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
ไอน้ำระเหย	ตรวจวัด หน้างาน	วัดจากปริมาณ น้ำที่เติมเข้าไป ใน Cooling tower	m ³	12,540	9.02×10^{-4}	1	0.0012	1.08×10^{-6}
ไส้กรอง อากาศ	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	240	1.73×10^{-5}	1	1.41	2.43×10^{-5}
ไส้กรอง น้ำมัน	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนักการ สั่งซื้อ 12 รอบ บิล	kg	85.12	6.12×10^{-6}	1	2.13	1.30×10^{-5}
ผ้ากรอง	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	6	4.31×10^{-7}	1	2.11	9.10×10^{-7}
หัวเทียน	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	4	1.51×10^{-6}	1	3.5158	5.32×10^{-6}
สายพาน	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	21.06	3.25×10^{-7}	1	3.5158	5.32×10^{-7}
Flex ขนาด เล็ก	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบบิล	kg	4.52	6.90×10^{-8}	1	3.5138	2.42×10^{-7}

ตารางที่ ง.7 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการ จัดเก็บ ข้อมูล	รายละเอียด การจัดเก็บ ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณ ต่อหน่วย (Function Unit)	การ ปัน ส่วน	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ปริมาณการ ปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)
โอริงค์	ตรวจวัด หน้างาน	เครื่องชั่ง น้ำหนัก การสั่งซื้อ 12 รอบปี	kg	0.96	6.90×10^{-8}	1	3.5138	2.42×10^{-7}
ผลิตภัณฑ์								
ไฟฟ้า	ตรวจวัด หน้างาน	วัดอัตราไหล (Flow meter) ทุก 1 ชั่วโมง	kWh	13,907,013	-	1	-	-



ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา



รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

วรรณิษา วงศ์วัฒนานันท์ และสมศักดิ์ ศิวคำรังพงศ์ (2561). การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศตัดแปลงและโรงไฟฟ้า.
การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14. 13-15 มิถุนายน 2561, ณ
โนโวเทล, จังหวัดระยอง.



การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
13 – 15 มิถุนายน 2561 ณ โรงแรม ระยอง

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง
และโรงไฟฟ้า
Assessment of greenhouse gases emissions in biogas in Modified Cover Lagoon and power
plants

วรรณิษา วงศ์วัฒนานันท์¹ และ สมศักดิ์ ศิวดารพงษ์^{1*}

วิศวกรรมการจัดการพลังงานและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่อยู่ 111, ถนน มหาวิทยาลัย

ตำบล สุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา นครราชสีมา 30000

*E-mail : somsaksi@sut.ac.th, 044-224236

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Modified Cover Lagoon และกระบวนการผลิตไฟฟ้า จากวัตถุดิบอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและไฟฟ้า โดยศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพตั้งแต่ รับน้ำเสียเข้ามาในระบบ ขั้นตอนแยกเบลอ์กมันออกจากน้ำเสีย ขั้นตอนหมักกรด (Hydrolysis) ขั้นตอนการสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis) จนไปถึงกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย ส่วนของกระบวนการผลิตไฟฟ้าศึกษาเกี่ยวกับ กระบวนการ Gas cool down , Bio scrubber , Dryer และ Generator เป็นต้น ผลการศึกษพบว่า ในการผลิตก๊าซชีวภาพขั้นตอนการหมัก ก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทนมีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด และขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลต่อการ ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด

คำหลัก : ก๊าซเรือนกระจก, ก๊าซชีวภาพ, ผลิตไฟฟ้า, บ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง

Abstract

The purpose of this research was to investigate the amount of greenhouse gases emission generated by the Modified Cover Lagoon and the electricity generation process. Raw material was from tapioca starch industry. Data were collected from Industrial processes. The process of biogas of wastewater inlet, wastewater /sludge separation, Hydrolysis process, Methane generation (Methanogenesis) to reach the final wastewater treatment. The electricity generation was consisted of gas cool down process, bio scrubber, dryer and generator. The study found that the process of biogas fermentation played that the greatest effect on greenhouse gas emissions is Methane. For Electricity generation, carbon dioxide has the most greenhouse gas emissions.

Keywords: greenhouse gas, biogas, electricity, Modified Cover Lagoon

1. บทนำ

ก๊าซเรือนกระจก คือ ก๊าซในบรรยากาศ ไร้สีเหมือนเรือนกระจก ก๊าซเหล่านี้มีความสำคัญต่อการรักษา ภาวะอุณหภูมิของโลก ก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นได้ทางธรรมชาติ และภาคอุตสาหกรรม ทั่วโลกมีการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases: GHGs) ในชั้นบรรยากาศ ส่งผลกระทบ

ENETT14-XXX-XX

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14 13 – 15 มิถุนายน 2561 ณ โนโวเทล ระยอง

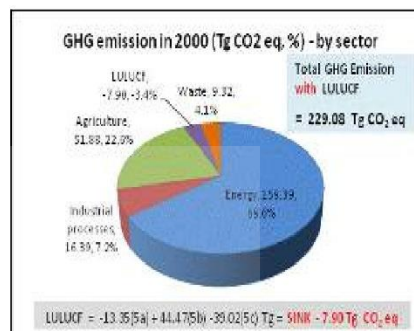
ต่อคนและระบบนิเวศธรรมชาติ เช่น การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ภูมิประเทศ เศรษฐกิจ และสังคมของมนุษย์ทั้งโลก อันเนื่องมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO₂) ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) และระบบบำบัดน้ำเสียถูกระบุว่าเป็นหนึ่งในแหล่งปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก [1] ซึ่งทำให้เกิดก๊าซ CO₂, CH₄ และ N₂O ขึ้นในระหว่างกระบวนการบำบัด ซึ่งเป็นการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกภาค (Modified cover lagoon) และในกระบวนการผลิตไฟฟ้า มีการปล่อยไอเสียที่ปลายปล่อง NO_x [stated as NO₂ (dry, 5% O₂) CO (dry, 5% O₂) HCHO (dry, 5% O₂) VOC (dry, 5% O₂) (MSM Energy Solution) [2] จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและผลิตไฟฟ้า มี CO₂, CH₄, N₂O ซึ่งเป็นก๊าซ 3 ใน 6 ตัวหลักที่มีค่าศักยภาพเรือนกระจกโลกร้อน ในปี พ.ศ. 2543 (ค.ศ.2000) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศรวมแหล่งปล่อย และส่วนที่ดูดกลับ เท่ากับ 229.08 TgCO₂eq หรือล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ภาคพลังงานเป็นภาคที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็น 159.39 TgCO₂eq หรือล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ ร้อยละ 69.6 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ[3] ภาคที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยสุด คือ ภาคของเสีย คิดเป็นปริมาณการปล่อยเท่ากับ 9.32 TgCO₂eq หรือล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือร้อยละ 4.10 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ [4] ปริมาณก๊าซเรือนกระจกและสัดส่วนต่อการปล่อยทั้งหมดของประเทศแสดงในรูปที่ 1

ทางผู้วิจัยจึงศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศ และกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยศึกษาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต ซึ่งผลการศึกษาจะทำให้ทราบถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ ตลอดทั้งสามารถระบุกระบวนการที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เพื่อเป็นแนวทางประยุกต์ในการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 แหล่งข้อมูล

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ใช้ข้อมูลจากขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลงและไฟฟ้า ประกอบด้วย



รูปที่ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ (National Total) ในปี พ.ศ.2543 (ค.ศ.2000) ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Tg หรือล้านตัน) [5]

1) ข้อมูลปฐมภูมิ: ข้อมูลกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและกระบวนการผลิตไฟฟ้าได้จาก โรงงานผลิตก๊าซชีวภาพแบบ MCL และโรงงานผลิตไฟฟ้า ค่าแฟคเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก บัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก

2) ข้อมูลทุติยภูมิ: ข้อมูลกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและผลิตไฟฟ้า จากคู่มือการพัฒนาและผลิตพลังงานทดแทน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

2.2 ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตการศึกษา พิจารณาในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพตั้งแต่วัตถุดิบที่รับเข้ามา กระบวนการหมักกรด กระบวนการสร้างมีเทน ส่วนกระบวนการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่กระบวนการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ลดความชื้น จนถึงผลิตไฟฟ้า โดยพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร และผลิตไฟฟ้า 1 KW-hr แบ่งการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็น 2 ส่วน (ดังรูปที่ 2.)

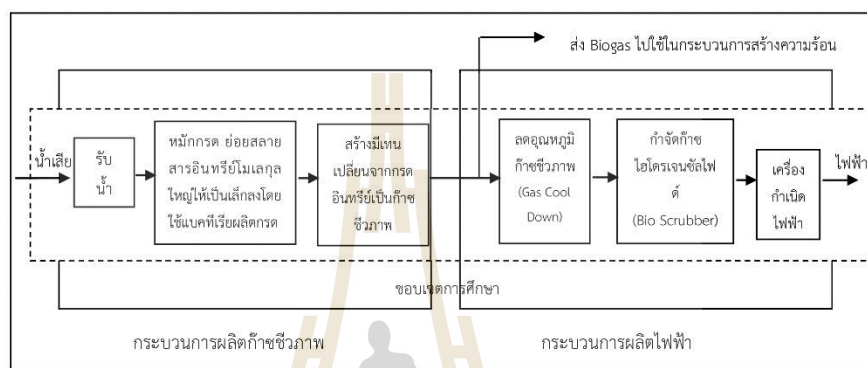
ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศและกระบวนการผลิตไฟฟ้านั้น ศึกษาโดยพิจารณาความสำคัญของข้อมูล ประมวลภูมิ และมีการพิจารณาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
13 – 15 มิถุนายน 2561 ณ โรงแรม ระยอง

ส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากทั้งกระบวนการผลิต ในกิจกรรมปริมาณการใช้พลังงาน กับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย
 ก๊าซชีวภาพและผลิตไฟฟ้า ก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ในแต่ละกิจกรรม

การปันส่วน คือ ในขั้นตอนการปันส่วนของ สูตรการคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือน
 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและผลิตไฟฟ้า มีการปันส่วนโดย กระจก

ปริมาณ ใช้ข้อมูลของแต่ละวัตถุดิบเป็นจำนวนของของสารขา Emission = Activity Data x Emission Factor (1)
 เข้าและสารขาออก ของแต่ละในกิจกรรม



รูปที่ 2 ขอบเขตการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ(MCL)และผลิตไฟฟ้า

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ เริ่มต้นจากขั้นตอนการ
 รับน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการหมักกรด เป็นการย่อยสลาย
 สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้แตกลง จากนั้นน้ำเสียถูกปล่อยเข้าสู่
 อุปกรณ์รับสภาพเพื่อทำการปรับค่าพีเอชให้เหมาะสมกับ
 จุลินทรีย์ก่อนนำน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
 ภายในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ จุลินทรีย์ทำปฏิกิริยากับน้ำเสีย ซึ่ง
 เป็นจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลพลอยได้จากการบำบัดน้ำ
 เสีย คือ ก๊าซชีวภาพ โดยประกอบไปด้วย ก๊าซมีเทน ก๊าซ
 คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากนั้นก๊าซ
 ชีวภาพถูกปล่อยเข้าสู่ขั้นตอนการลดอุณหภูมิโดยการ
 แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับก๊าซชีวภาพ ผ่านเครื่อง
 Gas Cool Down เพื่อให้อุณหภูมิของก๊าซชีวภาพมีความ
 เหมาะสมกับจุลินทรีย์ภายในถัง Scrubber ขั้นตอนการกำจัด
 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพื่อลดการกัดกร่อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
 วิธีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธี
 คำนวณตามคำแนะนำของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วย
 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศปี ค.ศ. 2006 [6] คำนวณจากข้อมูล

Emission หมายถึง ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Activity หมายถึง ข้อมูลด้านกิจกรรม

Emission Factor หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ
 เรือนกระจก [7]

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้
 อากาศและโรงไฟฟ้านั้น ทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
 ออกมาจากแต่ละกระบวนการผลิต ซึ่งในกระบวนการผลิตก๊าซ
 ชีวภาพจะคำนวณออกมาในหน่วย (ต่อ 1 หน่วยลูกบาศก์เมตร)
 ส่วนโรงไฟฟ้าคำนวณออกมาในหน่วย (ต่อ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง)

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
 จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศ
 แบบดัดแปลงและโรงไฟฟ้า พบว่าได้ศึกษาตั้งแต่กระบวนการ
 รับน้ำเสีย กระบวนการหมักกรด และกระบวนการผลิตก๊าซ
 ชีวภาพ ส่วนโรงไฟฟ้า พิจารณาตั้งแต่กระบวนการลดอุณหภูมิ
 กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และกระบวนการผลิต
 ไฟฟ้า โดยประเมินกิจกรรมทุกขั้นตอน จึงทำให้ทราบผลการ
 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศโลก ซึ่งมีผลดังแสดง

**การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
13 – 15 มิถุนายน 2561 ณ โรงแรม ระยอง**

ในตารางที่ 1 การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศและโรงไฟฟ้า ซึ่งเป็นการพิจารณาในแต่ละกิจกรรมของกระบวนการผลิต โดยคิดค่าการปลดปล่อยของสารขาเข้าและสารขาออก มารวมกันคือค่าการปลดปล่อยของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 1 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพและไฟฟ้า

ข้อมูลกิจกรรมในแต่ละขั้นตอน	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	หน่วย
กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ		
รับน้ำเสีย	0.003062529854	Kg CO ₂ eq
หมักกรด	0.000008827154	Kg CO ₂ eq
บ่อ Mixing	0.000406680567	Kg CO ₂ eq
หมักแก๊ส	0.190874297485	Kg CO ₂ eq
น้ำออก	0.000000065399	Kg CO ₂ eq
ไฟฟ้าที่ใช้	0.000671208538	Kg CO ₂ eq
กระบวนการผลิตไฟฟ้า		
scrubber	0.416819143759	Kg CO ₂ eq
Generator	0.038852051199	Kg CO ₂ eq

ดังนั้นกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.1920 KgCO₂eq/การผลิตก๊าซชีวภาพ 1 m³ ที่ค่ามีเทน 63% ในขั้นตอนนี้ ก๊าซมีเทน(CH₄) ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 0.0821 KgCO₂eq และกระบวนการผลิตไฟฟ้า ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.4557 KgCO₂eq/การผลิตไฟฟ้า 1 kW-hr ในขั้นตอนนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO₂) ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 0.3296 KgCO₂eq

ผลการคำนวณกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.1920 KgCO₂eq ผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับ Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a [9] มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.12 KgCO₂eq โดยกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพที่ศึกษามีค่าปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่า เนื่องจากกระบวนการผลิตยังไม่อยู่ในสถานะสมบูรณ์

ผลการคำนวณกระบวนการผลิตไฟฟ้า ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.4557 KgCO₂eq ผลที่ได้เมื่อ

เปรียบเทียบกับ Thai national database [10] มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.6093 KgCO₂eq โดยกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่ศึกษามีค่าปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าไฟฟ้าระบบกริด

4. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธาธิณี บัวดิษฐ์, สยาม อรุณศรีมรดก, กัมปนาท ภักดีกุล และ พัฒน์ ทวีโภค (2555). การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Oxidation Pond และ Extended Aeration Activated Sludge ของมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา, *การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 จังหวัดนครปฐม*
- [2] MWM Energy.Efficiency.Enviroment. CO., LTD. MWM Energy Solution, URL: <http://www.mwm.net/Mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/about/mwm/>, access on 16/04/2018
- [3-5] บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี 2553, 125 หน้า
- [6] IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. The National Greenhouse gas inventories programmer, Institute for Global Environmental Strategies (IGES); Hayama, Japan; 2006.
- [7] ยุทธพงศ์ พันธุ์ณี, ชุตินา ไฉเพ็ชร และ อนุสรณ์ บุญปก (2556). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการขนส่งทางบก: กรณีศึกษาของบริการสหกรณ์บริการเดินรถยนต์โดยสาร, วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา
- [8] ศูนย์วิจัยการฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2554), ปทุมธานี: แนวทางการผลิตของผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ได้รับฉลากคาร์บอน
- [9-10] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2550). ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/> เข้าดูเมื่อวันที่ 17/4/2561.

ประวัติผู้เขียน

นางสาววรรณิษา วงศ์วัฒนานันท์ เกิดเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ.2533 เริ่มเข้าศึกษาชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนครบุรีวิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 ที่โรงเรียนโชคชัยสามัคคี จังหวัดนครราชสีมา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 ที่โรงเรียนบุญวัฒนา จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปีพ.ศ. 2556 โดยหลังจากสำเร็จการศึกษาได้รับใบอนุญาตผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษน้ำ มลพิษอากาศ มลพิษกากอุตสาหกรรม และบุคลากรเฉพาะวัตถุอันตราย และเริ่มทำงานที่บริษัท เสงีสว่างพัฒนาพลังงาน จำกัด ตำแหน่งหัวหน้าฝ่ายผลิตก๊าซชีวภาพ

ปี พ.ศ.2560 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมการจัดการพลังงานและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความเข้าร่วมประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 ประจำปี 2561 เรื่องการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระบบบ่อบีดับแบบไม่ใช้อากาศตัดแปลงและโรงไฟฟ้า

