

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ:
กรณีศึกษา ระบบยูเอเอสปีขนาดเล็ก



นายสุรเชษฐ์ ก่อฉัตรรงค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2557

**CARBONFOOTPRINT EVALUATION OF ELECTRICITY
GENERATION FROM BIOGAS : A CASE STUDY OF
SMALL UASB PLANT**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Energy Management Engineering**

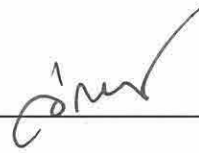
Suranaree University of Technology

Academic Year 2014

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ: กรณีศึกษา
ระบบยูเอเอสบี ขนาดเล็ก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(อ. ดร. นิตรเพชร ยศพล)

ประธานกรรมการ



(อ. ดร. สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(อ. ดร. โสรญา แข็งการ)

กรรมการ



(ศ. ดร. ชูกิจ ลิ้มปิงานงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม



(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชานีประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ศุภเชษฐ์ ก่อฉัตรรงค์ : การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ:
กรณีศึกษาระบบยูเอเอสบี ขนาดเล็ก (CARBON FOOTPRINT EVALUATION OF
ELECTRICITY GENERATION FROM BIOGAS : A CASE STUDY OF SMALL
UASB PLANT) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวคำรังพงค์, 129 หน้า

ปัจจุบันก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปริมาณเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะระบบผลิตก๊าซชีวภาพ แบบระบบยูเอเอสบี ซึ่งในกลุ่มโรงงานผลิตแอมโมเนียแล้วเป็นกลุ่มที่ผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด อย่างไรก็ตามในบางขั้นตอนของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพจะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยจัดเก็บข้อมูลการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากรพลังงาน และสารเคมีต่างๆที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการปลดปล่อยมลพิษและของเสียต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต มีขอบเขตในการศึกษาแบบ Cradle to Gate (B2B) เริ่มต้นจากกระบวนการปรับอัตราการไหลและการตกตะกอนขั้นต้น การหมักกรด การหมักแบบไร้อากาศและสิ้นสุดที่การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

จากผลการศึกษาพบว่าจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ มีค่าเท่ากับ 0.544 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมงโดยกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อมากที่สุดคือ กระบวนการหมักแบบไร้อากาศซึ่งมีค่าการปลดปล่อยสูงสุด โดยมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 0.439 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าคิดเป็น 80.71% ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ ในลำดับถัดมาคือกระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น, กระบวนการผลิตไฟฟ้าและกระบวนการหมักกรดซึ่งมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 0.068, 0.037 และ 3.54×10^{-5} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตามลำดับ อย่างไรก็ตามยังมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่ำกว่ากระแสไฟฟ้าจากสายส่งซึ่งมีคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 0.609 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

SURACHET KLANARONG : CARBON FOOTPRINT EVALUATION OF
ELECTRICITY GENERATION FROM BIOGAS : A CASE STUDY OF
SMALL UASB PLANT. THESIS ADVISOR : SOMSAK
SIWADAMRONGPONG, Ph.D., 129 PP.

CARBON FOOTPRINT/ LIFE CYCLE ASSESSMENT/ BIO GAS/ ELECTRICITY

Since biogas, especially in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) system, has been used as significant alternative energy for electricity generation. It was also reported that tapioca related industries play as an important role in generation and use of biogas. Therefore, the purpose of this research was to study and assess carbon footprint of electricity generation from biogas. The data of input and outputs (materials/resources energy/chemical substances/emission/wastes/by product) were collected following the life cycle assessment (LCA) process. The carbon footprint assessment was covered in cradle to gate (B2B) scope,

The result shows that the carbon footprint evaluation of electricity generation from biogas are 0.544 kgCO₂-eq./kWh. Which is significantly from anaerobic fermentation process 0.439 kgCO₂-eq. or 80.71% of the overall impacts. The carbon footprint in this study is lower than that from conventional grid system which has carbon footprint 0.609 kgCO₂-eq. per 1 kWh.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2014

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำรวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัยซึ่งได้แก่

อาจารย์ ดร. สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำปรึกษาแนะนำและแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทาน และแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

อาจารย์ ดร. ภัทรเพชร ยศพล อาจารย์ ดร. โสทรญา แข็งการกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ กรรมการผู้จัดการ บริษัท บูลไฟรไปโอ จำกัด คุณชาญชัย เขาวนดี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนในการดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ บริษัท บูลไฟรไปโอ จำกัด ทุกท่าน ที่คอยสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือต่างๆ ในระหว่างการจัดเก็บและสำรวจข้อมูลต่างๆ สำหรับการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน ทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่คอยให้กำลังใจในการทำการวิจัยโดยมาตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่างๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความห่วงใย การอบรมเลี้ยงดู และคอยเป็นกำลังใจ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

สุรเชษฐ์ กล้าณรงค์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฅ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ปรัชญ่วรรณกรรม.....	7
2.1.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ.....	7
2.1.2 กลไกการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ.....	8
2.1.3 หลักการของระบบบำบัดน้ำเสีย.....	17
2.1.4 ระบบผลิตไฟฟ้า.....	21
2.1.5 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์.....	27
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	42
3.1 รูปแบบการวิจัย.....	42
3.2 วิธีการดำเนินการ.....	45

สารบัญ (ต่อ)

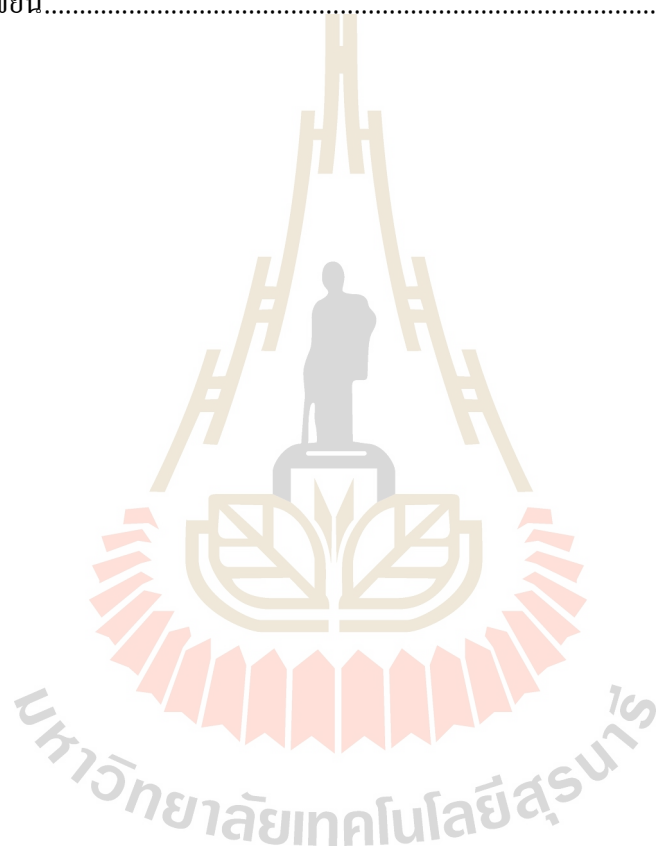
หน้า

3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา.....	45
3.2.2 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม.....	45
3.2.3 การประเมินผลกระทบ.....	51
3.2.4 การแปรผล.....	51
4 ผลการศึกษา.....	52
4.1 ผลการทดลอง.....	52
4.1.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	52
4.1.1.1 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์.....	52
4.1.1.2 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิต.....	52
4.1.1.3 การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก.....	55
4.1.1.4 ผลรวมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของการผลิตไฟฟ้า จากก๊าซชีวภาพ.....	68
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	70
4.2.1 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละกระบวนการของ การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ.....	70
4.2.2 เปรียบเทียบระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพกับการผลิตไฟฟ้า จากสายกระแสส่งในประเทศและการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งอื่น.....	71
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	74
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
รายการอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. กระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขึ้น.....	79
ภาคผนวก ข. กระบวนการหมักกรด.....	82
ภาคผนวก ค. กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ.....	84
ภาคผนวก ง. กระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	87
ภาคผนวก จ. คาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	90

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ฉ.บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม.....	101
ภาคผนวก ช.วิธีการคำนวณการปันส่วน.....	119
ภาคผนวก ซ.วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	123
ประวัติผู้เขียน.....	128



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	โรงงานอุตสาหกรรมที่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....3
2.1	ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ.....15
2.2	ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของ โรงงานผลิตแยมมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับแหล่ง น้ำเสียจากโรงงานประเภทอื่นๆ.....16
3.1	บัญชีรายการเก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตไฟฟ้า จากก๊าซชีวภาพ.....47
4.1	ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการ การปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น.....56
4.2	ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการ หมักกรด.....57
4.3	ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการ การหมักแบบไร้อากาศ.....59
4.4	ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการ การผลิตไฟฟ้า.....61
4.5	ผลการประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจาก ก๊าซชีวภาพ.....63
4.6	ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งช่วงวัฏจักร ชีวิตกระบวนการหมักกรด.....63
4.7	ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งช่วงวัฏจักร ชีวิตกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ.....65
4.8	ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งช่วงวัฏจักร ชีวิตกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....66
4.9	ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งในแต่ละวัฏจักร ชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ.....67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.10	ผลรวมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ.....	68
4.11	ผลรวมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ แยกย่อยตามกระบวนการ.....	69
4.12	เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าในแต่ละเทคโนโลยี.....	72



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	สัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย.....	2
1.2	สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนของประเทศไทย.....	4
2.1	ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	10
2.2	ถังปฏิกรณ์แบบ UASB และภาพจำลองภายในถัง.....	18
2.3	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์; Anaerobic Granules.....	19
2.4	เครื่องยนต์ใช้ก๊าซชีวภาพผลิตไฟฟ้า.....	23
2.5	ปริมาตร Displacement Volume และ Clearance Volume.....	23
2.6	การทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงตามวัฏจักรออกโต.....	24
2.7	แผนภาพวัฏจักรออกโตอุดมคติบน P-v ไดอะแกรม.....	25
2.8	แผนภาพวัฏจักรออกโตอุดมคติบน T-s ไดอะแกรม.....	25
2.9	กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์.....	29
2.10	การกำหนดขอบเขตของระบบที่ศึกษา.....	29
3.1	รูปแบบขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ.....	43
3.2	ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ.....	44
4.1	สารขาเข้า สารขาออกและผลิตภัณฑ์ระหว่างการปรับอัตราการไหลและการตกตะกอน ขั้นต้น.....	52
4.2	สารขาเข้า สารขาออกและผลิตภัณฑ์ระหว่างทางกระบวนการหมักกรด.....	53
4.3	สารขาเข้า สารขาออก และผลิตภัณฑ์ระหว่างทางกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน.....	54
4.4	สารขาเข้า สารขาออก และผลิตภัณฑ์ระหว่างทางกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	55
4.5	ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์แบ่งตามช่วงวัฏจักรชีวิต.....	69
4.6	ผลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ แยกย่อยตามกระบวนการ.....	70
4.7	สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแต่ละกระบวนการ.....	71
4.8	เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าแต่ละเทคโนโลยี.....	73

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คาร์บอนฟุตพริ้นท์(Carbon Footprint)

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วย ตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

การกำหนดหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ (Functional Unit ; FU)

การกำหนดหน่วยการอ้างอิงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology)

การพัฒนาปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การใช้วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากรธรรมชาติมีประสิทธิภาพ ก่อให้เกิดผลกระทบ ความเสี่ยงต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนการผลิตควบคู่กันไป (กรมควบคุมมลพิษ,2553)

การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะ (Benchmarking)

กระบวนการแลกเปลี่ยนความรู้ แลกเปลี่ยนประสบการณ์ และแลกเปลี่ยนวิธีปฏิบัติที่เป็นเลิศ (Best Practices) กับองค์กรอื่นภายใต้กฎกติกาสากล

ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)

เป็นค่าที่ใช้ในการแปลงค่าข้อมูลเบื้องต้น ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ เพื่อคิดเป็นค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมนั้นๆ ซึ่งในกิจกรรมประเภทเดียวกันจะมีความแตกต่างกันตามชนิดของเชื้อเพลิงและแตกต่างกันตามเทคโนโลยีที่ใช้ Emission Factor จะถูกนำไปใช้เพื่อการทำบัญชีฐานข้อมูลก๊าซเรือนกระจก (GHG Inventory)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางชีววิทยาในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) ก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นองค์ประกอบหลัก สามารถให้พลังงานความร้อนจากมีเทนได้สูงถึง 9,000 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร นำไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานได้

ค่าดัชนีชี้วัด (Key Factor)

ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณพลังงานที่ใช้ ปริมาณน้ำที่ใช้ ปริมาณของเสีย และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ค่าดัชนีชี้วัดที่ดีที่สุด

ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณพลังงานที่ใช้ ปริมาณน้ำที่ใช้ ปริมาณของเสีย และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีค่าน้อยที่สุด

น้ำหนักระแนน

เกณฑ์การให้น้ำหนักระแนนของการจัดลำดับความสำคัญของประเด็นปัญหาในการตรวจประเมินเบื้องต้น

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

- CH_4 = Methane คือสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นแก๊ส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไวไฟ ปรากฏในที่ซึ่งมีสารอินทรีย์ผุพังเน่าเปื่อย ในบ่อถ่านหิน ในแก๊สธรรมชาติ
- CO = Carbon Monoxide คือก๊าซไม่มีสี ไม่มีรสและกลิ่น เบากว่าอากาศโดยทั่วไป เล็กน้อย
- CO_2 = Carbon Dioxide คือ ชื่อแก๊สชนิดหนึ่ง ไม่มีสี มีปรากฏในบรรยากาศ เกิดจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ของธาตุคาร์บอนหรือสารอินทรีย์ เป็นแก๊สหนักกว่าอากาศ และไม่ช่วยในการเผาไหม้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

CO ₂ e, Co ₂ -Eq	=	Carbon dioxide Equivalent (คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) ทั้งนี้ตามพิธีสารเกียวโตนั้นได้กำหนดชนิดของก๊าซเรือนกระจกตามพิธีสารไว้ 6 ชนิด ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂), มีเทน (CH ₄), ไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O), ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs), เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF ₆)
COD	=	Chemical Organic Demand คือ ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมี
FU	=	Functional Unit คือ หน่วยอ้างอิงของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม
GHG	=	Greenhouse Gas คือ ก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นก๊าซก่อให้เกิดผลกระทบสถานะโลกร้อน
GW	=	Global Warming คือสถานะโลกร้อน
LCA	=	Life Cycle Assessment คือ การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือบริการต่างๆ
N	=	Nitrogen คือ ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ หรือออร์แกนิกไนโตรเจน
N ₂ O	=	Nitrous Oxide คือสารประกอบทางเคมี ไม่มีสี และเป็นแก๊สไม่ติดไฟ มีกลิ่นหอมและมีรสหวานเล็กน้อย

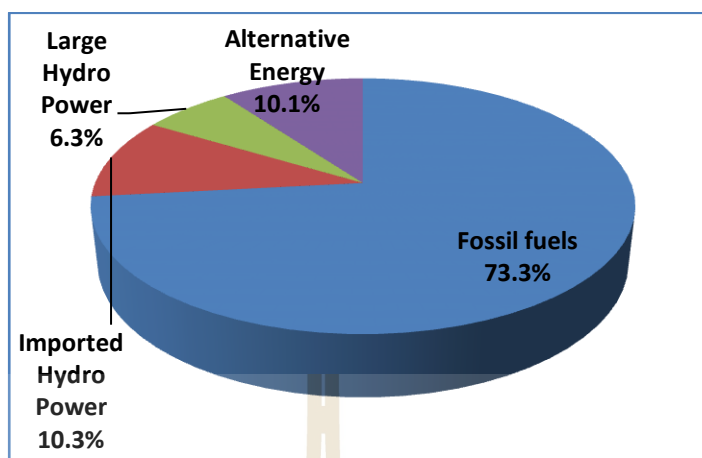
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แนวโน้มสถานการณ์ของการบริโภคพลังงานในปัจจุบัน มีความต้องการในการบริโภคพลังงานที่สูงขึ้นจากในอดีตเป็นอย่างมาก ซึ่งปัจจุบันสถานการณ์ทางด้านพลังงานนับเป็นปัญหาใหญ่ระดับชาติ โดยเฉพาะประเทศที่เป็นประเทศกำลังพัฒนา อาทิเช่น ประเทศไทยเรามีการพัฒนาและเจริญเติบโตในด้านต่างๆเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรมของไทยที่เกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แนวโน้มทางการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างน่าเป็นห่วง ซึ่งสวนทางกลับแหล่งพลังงานที่ลดลงเรื่อยๆอย่างต่อเนื่อง

ในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทยโดยกระทรวงพลังงานได้กำหนดมาตรการและกลยุทธ์ต่างๆ ด้านพลังงานที่สำคัญของประเทศ 3 มาตรการด้วยกัน โดย 2 ใน 3 ของมาตรการหลัก มุ่งเน้นการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนน้ำมันและการตั้งเป้าผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนต่างๆ อาทิ เช่น พลังงานชีวมวล พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม ซึ่งมาตรการเหล่านี้จัดตั้งขึ้นเพื่อลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และส่งเสริมให้ประเทศไทยหันมาผลิตพลังงานไว้ใช้เอง (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม) ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 สัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย

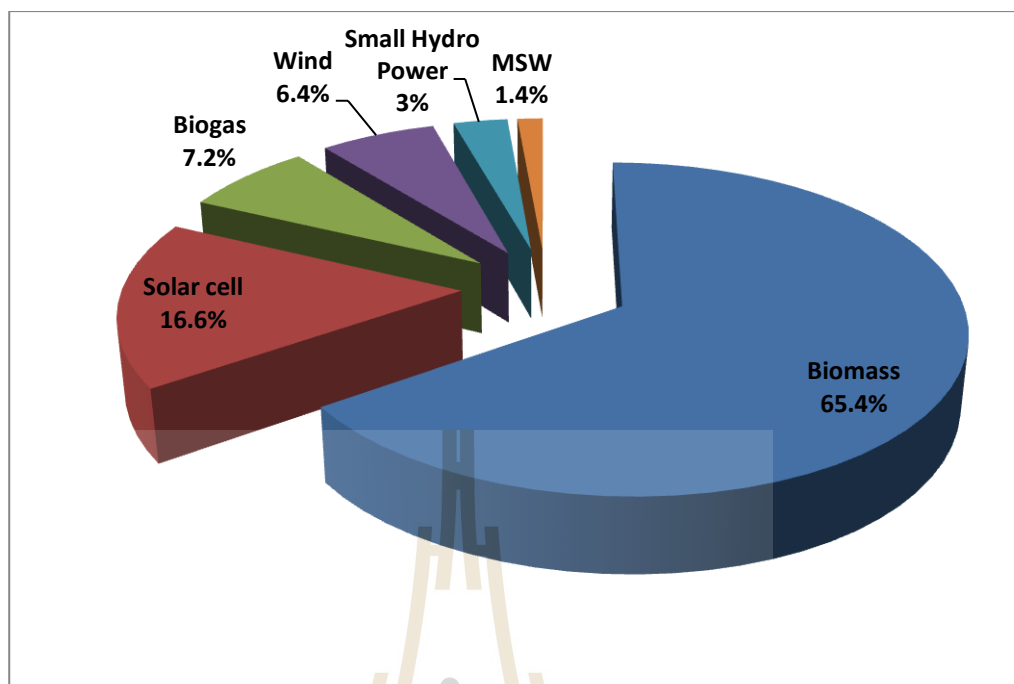
ในขณะเดียวกันก็ได้มีการผลักดันให้มีการลงทุนในการก่อสร้างและติดตั้งระบบผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้ากังหันลม โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวล และโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ โดยเฉพาะโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพได้รับความนิยมเป็นอย่างมากดังแสดงในรูปที่ 1.2 เนื่องจากการผลิตและใช้งานระบบผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทยนั้น ได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐเป็นอย่างมากในการส่งเสริม โดยให้เงินทุนสนับสนุน อีกทั้งการประชาสัมพันธ์ พร้อมทั้งสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้ประกอบการ โรงงาน เป็นผลให้พัฒนาการของการใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยขยายวงกว้างอย่างรวดเร็ว อาจแบ่งได้เป็น 3 ช่วงด้วยกัน ช่วงแรกจะเป็นการนำระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมาใช้เสริม หรือใช้ทดแทนระบบเก่าซึ่งเป็นระบบแบบเติมอากาศ โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียลง โดยโรงงานอุตสาหกรรมที่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพในช่วงแรกมักเป็น โรงงานสุรา/เบียร์ โรงงานผลิตอาหาร โรงงานผลิตเครื่องดื่ม และโรงแป่งมันสำปะหลังดังแสดงในตารางที่ 1.1 ต่อมาในช่วงที่สอง ภาครัฐเริ่มให้การสนับสนุนพร้อมส่งเสริมการใช้งานระบบผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรม พร้อมทั้งยังมีการให้เงินทุนสนับสนุน โครงการอีกด้วย อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือกับหน่วยงานภายในและภายนอกประเทศในการผลิตและส่งเสริม โครงการผลิตก๊าซชีวภาพด้วย จนถึงช่วงปัจจุบันกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมเริ่มมีความมั่นใจในเทคโนโลยีระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในกลุ่มโรงแป่งมันสำปะหลังที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องด้วยในปัจจุบันประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศผู้ผลิตมันสำปะหลังและส่งออกผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับแป้งมันสำปะหลังรายใหญ่ของโลก ซึ่งในปัจจุบันจังหวัดนครราชสีมา มีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังและเป็นฐานการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ใหญ่ที่สุดของประเทศ เนื่องจากเป็นที่ตั้งของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมากกว่า 20 โรงงาน โดยระบบผลิตก๊าซชีวภาพในโรงผลิตแป้งมันสำปะหลัง ที่ได้รับความนิยมจนเป็นที่แพร่หลายในจังหวัดนครราชสีมา คือ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) เพราะเป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบอื่นๆ ถึงเท่าตัว

ตารางที่ 1.1 โรงงานอุตสาหกรรมที่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ประเภทโรงงาน	จำนวน (โรง)
1. โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์แป้ง	72
2. โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	35
3. โรงงานผลิตเอทานอล	16
4. โรงงานสุรา/เบียร์	16
5. โรงงานผลิตภัณฑ์อาหารเครื่องดื่ม/แปรรูปอาหาร/อาหารแช่แข็ง	42
6. โรงฆ่าสัตว์	9
7. อื่นๆ เช่น ผลิตน้ำยางข้น/เคมี/ใช้วัสดุเหลือทิ้งผลิตเป็นก๊าซชีวภาพและบ่อฝังกลบขยะ	24
รวมโรงงานที่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	214

ที่มา: สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม



รูปที่ 1.2 สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนของประเทศไทย

ในขณะที่เดียวกันทั่วโลกมีแนวโน้มและทำที่ที่ตื่นตัวขึ้นเนื่องจากได้รับผลกระทบจากภาวะโลกร้อน ทำให้หลายประเทศหลายๆองค์กรต่างๆทั่วโลกได้ออกมาเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาและลดผลกระทบจากภาวะโลกร้อนซึ่งในประเทศไทยเองก็เช่นกัน ในปี 2552 องค์กรบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ได้ทำการพัฒนาแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ขึ้นในปีเดียวกันนี้ พบว่าได้รับความสนใจจากภาคอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เป็นเหตุผลให้ผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรมมีความต้องการในการดำเนินงานด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วย เพื่อให้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีแนวโน้มทางการประเมินไปในทิศทางเดียวกัน มีความน่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคทั่วโลกสนใจและเลือกผลิตภัณฑ์ที่เป็นเป้าหมายสำหรับประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออก จึงได้มีการจัดทำข้อกำหนดเฉพาะสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขึ้น โดยแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ ได้อ้างอิงจากหลักการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) โดยพิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ พลังงานและทรัพยากร การใช้งานหรือการให้บริการ ตลอดจนการจัดการของเสียหรือซากจากการใช้งาน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการ

ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle to Grave) หรือการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตในโรงงาน (Cradle to Grave) ได้ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ได้มาสามารถใช้บ่งชี้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เฉพาะประเด็นด้านการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเท่านั้น

ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ถูกปลดปล่อยในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ขนาดกำลังผลิต 1.128 เมกะวัตต์ และระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังปฏิกรณ์แบบตะกอนลอย (Upflow Anaerobic Sludge Blanket:UASB) ที่ปริมาตรรวม 14,000 ลูกบาศก์เมตร โดยศึกษาใน 4 ขั้นตอนหลักคือ 1. บ่อปรับอัตราการไหล/บ่อตกตะกอนขั้นต้น 2. บ่อหมักกรด 3. ถังหมักแบบไร้อากาศ 4. เครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า งานวิจัยนี้ได้ใช้ผลิตภัณฑ์เป็นการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเป็นกรณีศึกษา โดยกำหนดพิจารณาหน่วยของการวิจัยการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ
2. เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาหรือปรับปรุงกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเพื่อลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket:UASB ที่ปริมาตรถังรวม 14,000 ลูกบาศก์เมตร บริษัท บูลไฟร์ ไบโอบี จำกัด ที่ตั้ง 61-61/1 ตำบลหินลาด อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา
2. เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1.128 เมกะวัตต์
3. การประเมินโดยตั้งสมมติฐานว่า ก๊าซที่ได้จากการหมักเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เท่านั้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตพื้นที่ส่วนศึกษาวิจัย กรณีศึกษา บริษัท บูลไฟร์ ไบโอบี จำกัด เท่านั้น กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา เริ่มศึกษาจากบ่อปรับอัตราการไหล/บ่อตกตะกอนขั้นต้น จนถึง เครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า

2. ขอบเขตด้านเนื้อหาการศึกษาวิจัย เป็นการอ้างอิงตามการประเมินวัฏจักรตลอดชีวิต (LCA) โดยเลือกแปรผลการวิเคราะห์เฉพาะส่วนของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) เท่านั้น
3. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตาม Guideline TGO แบบการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตในโรงงาน (Cradle to Gate)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลกระทบเชิงปริมาณในรูปคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ
2. ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถระบุถึงขั้นตอนหรือกระบวนการสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อด้านการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
3. ผลการศึกษาที่ได้สามารถเป็นแนวทางในการตัดสินใจในการปรับปรุงกระบวนการผลิตการเลือกใช้วัตถุดิบตลอดจนเทคโนโลยี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าและลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพได้

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปรัทัศน์วรรณกรรม

2.1.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (กรมพัฒนาพลังงานฯ, 2549)

กระบวนการย่อยทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Process) เป็นกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพที่ใช้แบคทีเรียชนิดไม่ใช้อากาศหลายกลุ่ม ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลและสลับซับซ้อนอันได้แก่คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันผลพลอยได้จากกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้อากาศคือก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซซึ่งประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด โดยมีก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูง โดยสามารถให้พลังงานความร้อนได้สูงถึงประมาณ 9,000 กิโลแคลอรี/ลูกบาศก์เมตร หรือ 21,000 กิโลจูล/ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นก๊าซชีวภาพซึ่งปกติจะมีมีเทนอยู่ประมาณ 60-65% จึงสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปพลังงานได้ เช่นเผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาป ภายใน หรือเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศมีกระบวนการที่สลับซับซ้อนมาก โดยปฏิกิริยาทางชีวเคมีเกิดขึ้นนับร้อยกระบวนการ ซึ่งต้องอาศัยเอนไซม์หรือตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการเข้าทำปฏิกิริยาด้วยแม้ว่าการศึกษเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจะมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมกันมาอย่างยาวนาน แต่ในปัจจุบันการศึกษาทางด้านนี้ยังไม่หยุดนิ่ง ยังคงมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทราบถึงกลไกและลักษณะการทำงานของแบคทีเรียและทำให้การออกแบบและควบคุมระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2.1.2 กลไกการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ

1) แบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกาศ (กรมพัฒนาพลังงานฯ, 2549)

การย่อยทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกาศเกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายชนิด ในการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์จนกระทั่งได้ก๊าซชีวภาพ แบคทีเรีย ชนิดไม่ใช้ออกาศหลายกลุ่มเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมีการจำแนกหรือแบ่งกลุ่มได้หลายวิธี โดยในวิธีแรกอาจแบ่งตามลักษณะสภาวะการดำรงชีพของแบคทีเรียซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 พวกคือ

- Facultative Anaerobic Bacteria หรือแบคทีเรียที่สามารถอยู่ได้ทั้งสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน

- Obligate Anaerobic Bacteria แบคทีเรียที่ต้องอาศัยอยู่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น ดังนั้นแบคทีเรียกลุ่มนี้จึงไม่สามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือผลิตก๊าซชีวภาพ หากระบบมีการละลายของออกซิเจนอิสระ

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งชนิดของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกาศตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิดคือ

- แบคทีเรียชนิดสร้างกรด (Acid Former Bacteria) เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Facultative Anaerobic Bacteria และแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกาศ แบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งไปเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ แบคทีเรียกลุ่มนี้ประกอบไปด้วย Pseudomonans, Flavobacteria, Aerobacter และ Escherichia เป็นต้น

- แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Former Bacteria) แบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกาศอย่างแท้จริง จะย่อยสลายพวกกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียกลุ่มนี้ได้แก่ Methanobacterium, Methanosarcina, Methanococcus และ Methanobacillus เป็นต้น ซึ่งเป็นจันัส (Genus) ในตระกูล Methanobacteriaceae เติบโตได้ช้า โดยทั่วไปต้องการเวลากักเก็บตะกอน (Solid Retention Time, SRT) มากกว่า 4 วัน แบคทีเรียในกลุ่มสร้างกลุ่มและสร้างมีเทนต้องพึ่งพาซึ่งกันและกัน

- แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria, SBR) ปริมาณของแบคทีเรียชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในน้ำเสีย โคนเป็นแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนซัลเฟตให้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ทั้งนี้แบคทีเรียชนิดดังกล่าวจะทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนๆ (พีเอชประมาณ 5) แต่ในขณะที่แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตทำงานได้ดี จะส่งผลให้แบคทีเรียสร้างมีเทนลดการผลิตมีเทนลง เนื่องจากพีเอชและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการทำงานของแบคทีเรียทั้งสองชนิดแตกต่างกัน ดังนั้นในน้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงจะต้องมีการปรับพี

เอซีให้เหมาะสมอยู่เสมอทำการกำจัดเซลล์ฟุ้งออกก่อนที่จะจ่ายน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

2) กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ

สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจะเป็นสารประกอบจำพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ทั้งที่อยู่ในรูปของของแข็งและสารละลาย กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกาศสามารถแบ่งออกได้ 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : Solubilisation หรือ Hydrolysis

ขั้นตอนที่ 2 : Acidogenesis

ขั้นตอนที่ 3 : Acetogenesis

ขั้นตอนที่ 4 : Methanogenesis

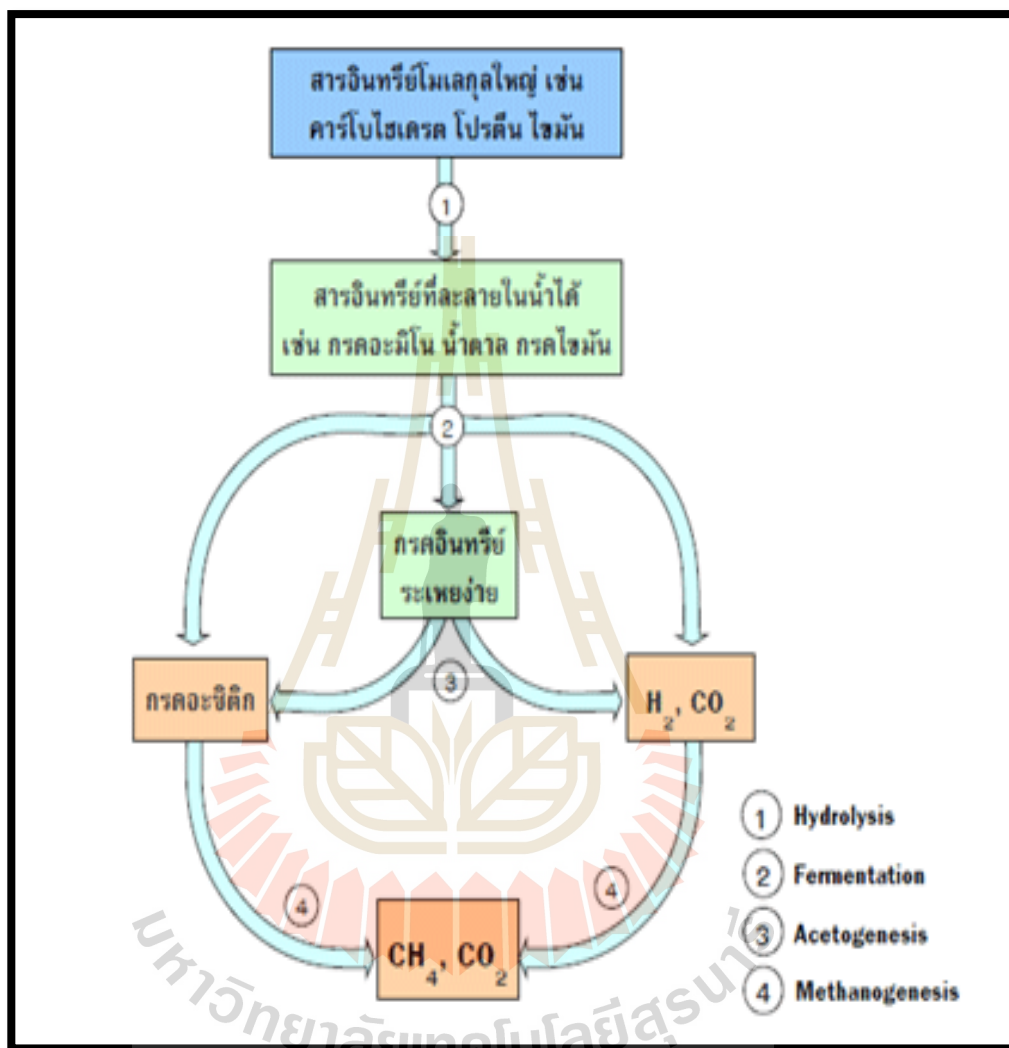
โดยอาจแบ่งขั้นตอนในการย่อยสลายได้เป็นสองระดับ ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายคือการย่อยสลายแบบไม่มีการสร้างมีเทน และการย่อยสลายแบบที่มีการสร้างก๊าซมีเทน

การย่อยสลายแบบไม่มีการสร้างก๊าซมีเทน

ในกระบวนการสร้างมีเทนจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนโมเลกุลขนาดใหญ่ของสารอินทรีย์จำพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ให้มีขนาดเล็กลงจนถึงขั้นของกรดไขมันระเหยง่ายขนาดเล็กจำพวก (Acetic Acid, CH_3COOH) ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกรวมกันว่าเป็นขั้นตอนการสร้างกรด (Acid Formation Phase) โดยกลไกการสร้างกรดแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือ กระบวนการที่เกิดขึ้นภายนอกเซลล์และกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์

การย่อยสลายภายนอกเซลล์ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 คือกระบวนการ Solubilisation หรือกระบวนการ Hydrolysis สารอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ (Extracellular Enzyme) ให้กลายเป็นสารประกอบเชิงเดี่ยว (Monomer) สำหรับใช้ในกระบวนการสร้างกรด แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายคือแบคทีเรียจำพวกแฟลคคัลเททีฟแบคทีเรีย (Facultative Anaerobic Bacteria) โดยกลุ่มของแบคทีเรียในขั้นตอนนี้แบ่งได้ตามชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์คือ Cellulytic, Lipolytic และ Proteolytic สำหรับความเร็วของกระบวนการย่อยสลายในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย ซึ่งเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจะเลือกชนิดของปฏิกิริยา ชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา รวมถึงการทำงานของเอนไซม์ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น จากการศึกษากระบวนการการแตกสลายโพลิเมอร์จากของ

เสียหลายๆประเภท พบว่าการย่อยสลายโดยแบคทีเรียหลายชนิดร่วมกันจะได้ผลดีมากกว่าการย่อยสลายโดยใช้แบคทีเรียชนิดเดียว



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกาศ (กรมพัฒนาพลังงานฯ, 2549)

การย่อยสลายภายนอกเซลล์ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 คือกระบวนการ Solubilisation หรือกระบวนการHydrolysis สารอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ (Extracellular Enzyme) ให้กลายเป็นสารประกอบเชิงเดี่ยว (Monomer) สำหรับใช้ในกระบวนการสร้างกรด แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายคือแบคทีเรียจำพวกแฟลคคัลเททีฟแบคทีเรีย (Facultative Anaerobic

Bacteria) โดยกลุ่มของแบคทีเรียในขั้นตอนนี้แบ่งได้ตามชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์คือ Cellulytic, Lipolytic และ Proteolytic สำหรับความเร็วของกระบวนการย่อยสลายในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย ซึ่งเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจะเลือกชนิดของปฏิกิริยา ชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา รวมถึงการทำงานของเอนไซม์ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น จากการศึกษากระบวนการการแตกสลายโพลีเมอร์จากของเสียหลายประเภท พบว่าการย่อยสลายโดยแบคทีเรียหลายชนิดร่วมกันจะได้ผลดีมากกว่าการย่อยสลายโดยใช้แบคทีเรียชนิดเดียว

หลังจากการเกิดกระบวนการย่อยสลายภายนอกเซลล์ การย่อยสลายก็จะเข้าสู่ระบบขั้นตอนการย่อยสลายภายในเซลล์ ซึ่งได้แก่ขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 3 ในรูปที่ 2.1 โดยในขั้นตอนที่ 2 หรือการเกิดกระบวนการ Acidogenesis การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะใช้สารที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนแรกเป็นสารตั้งต้น สำหรับแบคทีเรียประเภทสร้างกรด โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะเปลี่ยนสารอาหารดังกล่าวให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิด โมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic acid) กรดวาเลอริก (Valeric acid) และกรดแลคติก (Lactic acid) โดยกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีปริมาณ ส่วนของกรดอะซิติกสูงสุด และมีการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย แบคทีเรียสร้างกรดมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีเป็นผลสืบเนื่องมาจากการอยู่ร่วมกันของแบคทีเรียหลายสปีชีส์ (Species) กรณีที่กลุ่มของแบคทีเรียสร้างกรดมีการสร้างกรดมากเกินไป จะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยรวมเนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนถูกยับยั้งการทำงาน เนื่องจากกรดที่มากเกินไปทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงและส่งผลกระทบต่อระบบการดำรงชีพของกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ สำหรับแบคทีเรียในขั้นตอนการสร้างกรด (Acetogenesis) คือแบคทีเรียในกลุ่มของ Fermentative Bacteria หรือ Acidogens ซึ่งแบคทีเรียที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ได้อีกด้วย

การกำหนดชนิดของผลผลิตในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือ ชนิดของสารตั้งต้นที่เกิดจากขั้นตอนที่ 1 และความดันก๊าซย่อยของก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen Partial Pressure) ยกตัวอย่างเช่น ในขั้นตอนการย่อยสลายกลูโคส ในสภาวะที่ความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจนมีค่าต่ำ (Low Hydrogen Partial Pressure) ผลผลิตที่ได้คือกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ้าอยู่ในสภาวะที่มีความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจนมีค่าสูง (High Hydrogen Partial Pressure) ผลผลิตที่ได้จะอยู่ในรูปของกรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ดังตัวอย่างในปฏิกิริยา

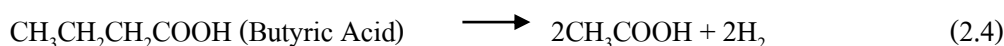
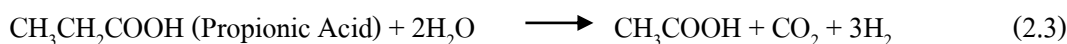
สภาวะ Low Hydrogen Partial Pressure



สภาวะ High Hydrogen Partial Pressure



สำหรับการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 3 หรือกระบวนการ Acetogenesis นั้นเป็นผลอันเนื่องมาจากการที่แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตก๊าซมีเทนต้องการสารอาหารที่มีความเฉพาะเจาะจงสูงโดยสารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ประโยชน์ได้ ประกอบด้วย กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน แต่ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนมากกว่าสองอะตอมได้ เช่น กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก เป็นสารในการสร้างก๊าซมีเทนโดยตรง ดังนั้นในกรณีที่กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) ที่สร้างขึ้นยังอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของแบคทีเรีย จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านั้นให้มีอะตอมของคาร์บอนที่ลดลง เพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้ แบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่สามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอมให้เป็นกรดอะซิติก ได้แก่แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจน (Hydrogen Producing Acetogenic Bacteria) ผลผลิตที่ได้ประกอบไปด้วยกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีในภายใต้สภาวะ Low Hydrogen Partial Pressure ดังสมการ



นอกจากการสร้างกรดด้วยกระบวนการทั้งหมดสองชนิดแล้ว ยังพบว่าแบคทีเรียบางกลุ่มที่สามารถสร้างกรดอะซิติกได้จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนดังสมการ



กระบวนการย่อยสลายที่มีการสร้างมีเทน

กระบวนการนี้เกิดขึ้นเฉพาะในขั้นตอนที่ 4 เรียกว่า Methanogenesis โดยที่กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากขั้นตอนการสร้างกรดจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียชนิดสร้างก๊าซมีเทน (Methane Forming Bacteria) การเกิดก๊าซมีเทนเกิดได้ 2 แบบ แบบแรกคือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นนี้ที่ปริมาณ 70% ของก๊าซมีเทนที่สามารถเกิดขึ้นในระบบ และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน โดยแบคทีเรียประเภท Hydrogen-Utilizing Methane Bacteria ดังสมการ



แบคทีเรียสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ทำให้ช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดนี้แคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8 - 7.2 และแบคทีเรียในกลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate) หรือการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์ใหม่ต่ำ ต้องการสารอาหารที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน จึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด โดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน ดังนั้นเมื่อพิจารณากลุ่มของแบคทีเรียที่อยู่ร่วมกันในระบบการหมักแบบ ไร้อากาศ พบว่ากลุ่มของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะเป็นกลุ่มแบคทีเรียหลัก ในการควบคุมความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดในระบบ เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้มีอัตราการเติบโตช้าที่สุด และมีข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมของระบบมากกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่นๆ

3) องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (รุ่งฤดี บุญสุ, 2551)

สารตั้งต้นของก๊าซชีวภาพคือ สารอินทรีย์ที่เป็นซากสิ่งมีชีวิตหรือเป็นส่วนประกอบในน้ำเสียและของเสีย ซึ่งแบคทีเรียหลายประเภทร่วมกันทำการย่อยสลาย โดยประมาณร้อยละ 80-90 ของสารอินทรีย์จึงเกิดการย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิดดังนี้

1. ก๊าซมีเทน (CH_4) ร้อยละ 50-70
2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 30-50
3. ก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไอน้ำ
4. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ (รุ่งฤดี บุญคู่, 2551)

การหมักย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องการอุณหภูมิของน้ำเสียที่ไม่ต่ำเกินไป อุณหภูมิที่ทำให้บ่อหมักชนิดที่ไม่ต้องให้ความร้อนเพิ่ม ทำงานได้ดีตั้งแต่อุณหภูมิเกิน 15 องศาเซลเซียสขึ้นไป และการผลิตก๊าซมีเทนซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าบ่อหมักทำงานได้ดีนั้นจะมีการผลิตเพิ่มขึ้นตามทีอุณหภูมิของอากาศหรือของน้ำเสียที่สูงขึ้น

การเติมน้ำเสียที่มีความเข้มข้น (มีค่าของของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5-10) และอัตราการเติมพอเหมาะจะไม่ทำให้ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเป็นกรดมากเกินไป โดยการหมักย่อยที่แบคทีเรียทุกกลุ่มทำงานร่วมกันได้ดีต้องการค่าพีเอช หรือความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 6.8-7.5 การเป็นกรดมากเกินไป เกิดจากการเติมของเสียในอัตราสูงเกินไป เช่น สูงกว่า 1.5 กิโลกรัมของของแข็งระเหยได้ (VS) ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับกรณีบ่อหมักแบบโดมซึ่งจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนจะทนอยู่ไม่ได้ และการที่มีสภาพเป็นด่างมากเกินไปก็จะทำให้แอมโมเนียไอออน (NH_4^+) เปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย (NH_3) ได้มากขึ้น ซึ่งแอมโมเนียเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้มากกว่าที่อยู่ในรูปแอมโมเนียไอออน นอกจากนี้มีน้ำเสียควรมีสารอินทรีย์ที่มีสัดส่วนของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ระหว่าง 9-25:1 การกวนตัวของน้ำเสียภายในส่วนถังหมักก็นับว่าเป็นเรื่องส่วนสนับสนุนให้การสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์กับแบคทีเรียเกิดได้ดี ดังตารางที่ 2.1 แสดงถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2.1 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ปัจจัย	สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมและผลกระทบ
อุณหภูมิ	อยู่ช่วงอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic) คือ 26-40 °C ช่วงที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 30-35 °C การหมักในช่วงอุณหภูมิสูง (Thermophilic) คือ 45-60 °C ก็สามารทำได้ แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระทันหันอาจส่งผลเสียระบบผลิตก๊าซได้
ระยะเวลาหมัก	ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของของเสียขาเข้า ชนิดของของเสีย และอุณหภูมิ โดยทั่วไป จะใช้เวลาประมาณ 1-30 วัน
อากาศ	ต้องไม่ให้มีอากาศผ่านเข้าระบบ เพราะเป็นพิษต่อระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน
ชนิดแบคทีเรีย	ขึ้นอยู่กับชนิดของเสียและอุณหภูมิ แบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ชนิด Methanosarcinaอาจให้ผลดีต่อระบบที่ต้องการอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูง
พีเอช(pH)	อยู่ในช่วง 6.0-8.0 ดีที่สุดเมื่อใกล้ 7.0
กรดไขมันระเหย (VFAs)	ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ควรมากกว่าค่ากรดไขมันระเหยง่าย
ปริมาณของแข็ง	ช่วงที่เหมาะสมของปริมาณของแข็งในน้ำเสียเข้าระบบประมาณ 7-9% โดยน้ำหนัก
สารพิษ	หากมีปริมาณของไอออนประจุบวก (Cations) และโลหะหนักบางชนิดมากเกินไปจะเป็นพิษต่อระบบ โดยทั่วไปอินทรีย์ที่ทมิฮาโลเจนเป็นอลค์ประกอบ (Halogenated organics) จะส่งผลเสียต่อระบบได้ง่าย

ที่มา: อ้างอิงจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549

หมายเหตุ: VFA (Volatile Fatty Acids) เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 6 หรือน้อยกว่า อาทิเช่นกรดอะซิติก โพรพาโนอิก และบิวเทอริก เป็นต้น Halogenated organics เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยหมู่ฮาโลเจนหรือธาตุในหมู่ 7 ตามตารางธาตุ เช่น คลอรีน ซึ่งสารเหล่านี้จะมีความเป็นพิษสูงและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

5) ศักยภาพในการให้พลังงานของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูง โดยสามารถให้พลังงานความร้อนได้สูงถึงประมาณ 9,000 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 21,000 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจึงสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบพลังงานได้ เช่น เผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ และกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพไม่สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ทั้งหมดให้เป็นก๊าซได้ จะยังคงมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากหลงเหลืออยู่โดยจะเหลืออยู่มากหรือน้อยขึ้นกับชนิดและแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ สำหรับศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอินทรีย์สารแต่ละประเภทได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยอาศัยการประเมินค่าจากเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและให้ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร มีส่วนประกอบของมีเทนร้อยละ 60-65

ตารางที่ 2.2 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำเสียจากโรงงานประเภทอื่นๆ

แหล่งของน้ำเสีย	ปริมาณน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตร)	ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตร)
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	1	15
โรงงานแป้งข้าวเจ้า	1	2.4
โรงงานแป้งมันสำปะหลัง	1	7
โรงงานฆ่าสัตว์	1	0.7
ฟาร์มสุกร	1	3.5

ที่มา: (อ้างอิงจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

ในส่วนของอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสามารถคำนวณคร่าวๆทางทฤษฎีได้ โดยเริ่มจากการคำนวณหาสารอินทรีย์ที่ใช้ในการสร้างมีเทนก่อน ดังแสดงในสมการ

$$\text{สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างมีเทน} = \text{สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้} - \text{สารอินทรีย์ที่ใช้เซลล์} \quad (2.8)$$

เมื่อได้ปริมาณสารอินทรีย์ในการสร้างมีเทนแล้ว จึงคำนวณหาอัตราการสร้างมีเทนโดยใช้สมการดังนี้

$$\text{อัตราการสร้างมีเทน(ลบ.ม/วัน)} = 0.36 \text{ (ลบ.ม/กก.)} \times \text{สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างมีเทน (กก./วัน)} \quad (2.9)$$

สารอินทรีย์ที่ถูกนำมาใช้ในการสร้างมีเทนคำนวณได้จากปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดไปลบด้วยปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้นใหม่ ในส่วนของก๊าซชีวภาพที่ได้ทั้งหมดโดยปกติแล้ว

ก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วยมีเทนร้อยละ 60 ดังนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใหม่ในแต่ละวันจะมีค่าเท่ากับ

$$\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม/วัน)} = \text{ปริมาณมีเทน (ลบ.ม/วัน)} / 0.6 \quad (2.10)$$

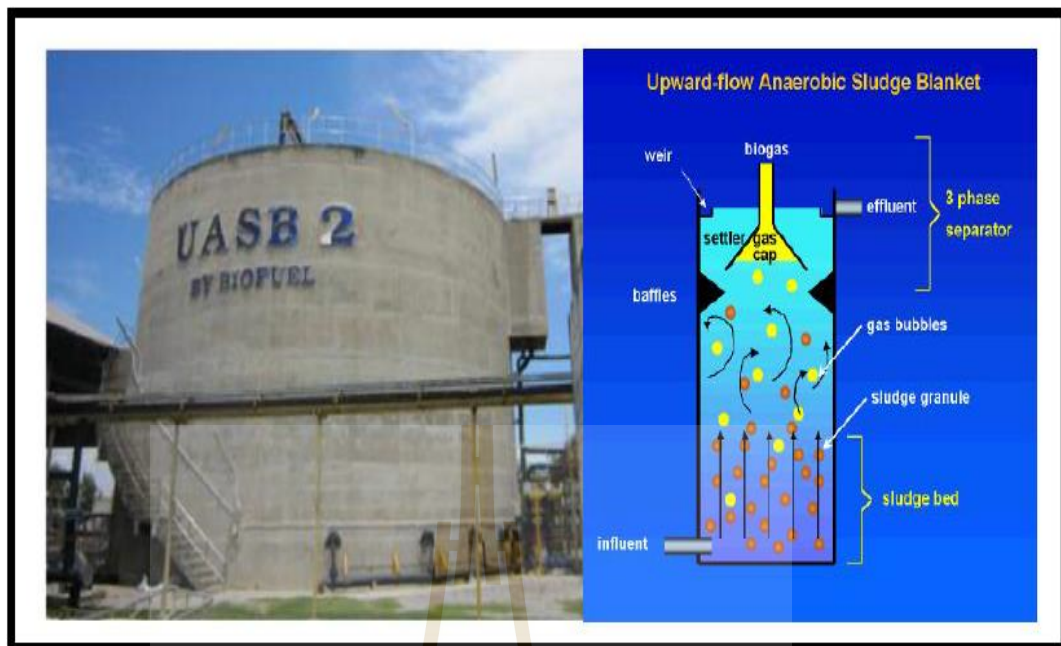
ดังนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปริมาณ 1 กิโลกรัมจะมีค่าประมาณ $0.36/0.6 = 0.6$ ลบ.ม/กก.

2.1.3 หลักการของระบบบำบัดน้ำเสีย (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย)

เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีอยู่หลายชนิด ดังนั้นผู้วิจัยขอเสนอระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) เนื่องจากเป็นระบบที่ผู้วิจัยได้ศึกษาโดยระบบมีหลักการดังต่อไปนี้

ระบบชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้ออกซิเจนแบบไหลขึ้น หรือระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) เป็นระบบหนึ่งของระบบบำบัดทางชีววิทยาที่ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาประสิทธิภาพให้สูงขึ้น โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์แขวนลอย ซึ่งมีการพัฒนาให้เกาะตัวกันในลักษณะเป็นเม็ดตะกอน (Granule) ระบบนี้อาศัยการกวนผสมที่เกิดจากการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์จากด้านล่างไหลขึ้นสู่ด้านบน และการกวนผสมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจริงจากกิจกรรมการย่อยสลายเป็นสำคัญ โดยตะกอนจุลินทรีย์เหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำเสียด้วยอุปกรณ์แยกของแข็ง-ของเหลว-ก๊าซ (Gas-Liquid-Solid Separator หรือ 3 Phase Separator) ทำให้สามารถรักษาจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงไว้ในระบบได้

ระบบยูเอเอสบี เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ขึ้นสู่ด้านบน (Up-flow Feeding) โดยหัวใจสำคัญของระบบยูเอเอสบีอย่างหนึ่งคือ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบที่เจริญเติบโตอยู่ในลักษณะแขวนลอย ซึ่งอาศัยการยึดเกาะกันเองของจุลินทรีย์ (Self-Immobilization) หรือเรียกได้ว่าเม็ดตะกอน จุลินทรีย์ (Granule)



รูปที่ 2.2 ถังปฏิกรณ์แบบ UASB และภาพจำลองภายในถัง (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม)

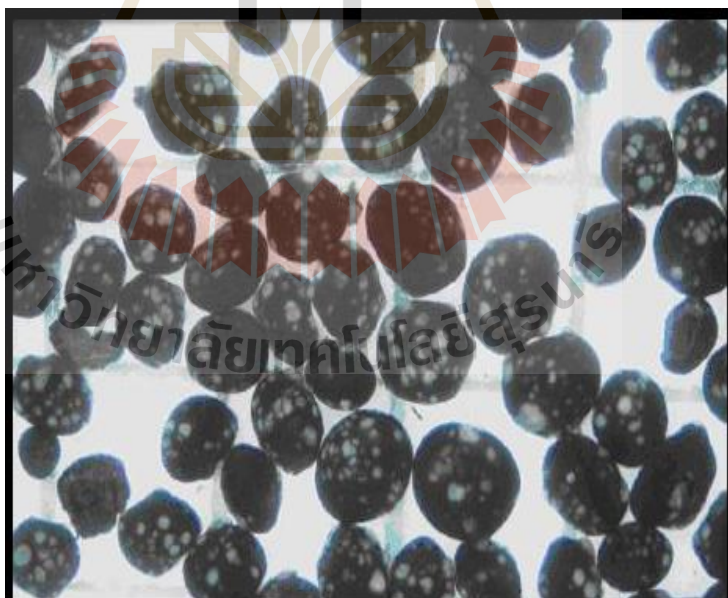
จากคุณสมบัติและลักษณะการทำงานของถังยูเอเอสบี ทำให้สามารถแบ่งส่วนประกอบภายในถังยูเอเอสบีได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นถังปฏิกริยาพร้อมด้วยระบบกระจายน้ำเสียซึ่งจะอยู่ทางด้านล่างของถังและส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซบริเวณด้านบน โดยมีกลไกและลักษณะการทำงานของแต่ละส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ส่วนที่เกิดปฏิกริยาจะอยู่ทางด้านล่างของถังซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ การไหลของน้ำเสียในถังจะเป็นการไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน มีการป้อนน้ำเสียจะป้อนเข้าทางด้านล่างของถังยูเอเอสบีผ่านทางระบบการกระจายน้ำเสีย ซึ่งการกระจายน้ำเข้าถังจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดของถัง การเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในถังยูเอเอสบีจะควบคุมให้ตะกอนสะสมเป็นชั้นตะกอนที่มีความหนาแน่น น้ำเสียที่ต้องการบำบัดจะไหลผ่านชั้นตะกอน แบคทีเรียในชั้นตะกอนซึ่งอยู่กันอย่างหนาแน่นจะเกิดการรวมกันเป็นเม็ด (Granule) โดยเม็ดตะกอนที่มีความหนาแน่นสูงจะจมตัวอยู่ด้านล่าง มีการจัดเรียงตัวจากขนาดใหญ่ขึ้นไปหาเล็กเหมือนชั้นทรายกรอง ส่วนกลุ่มที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีความเร็วในการจมตัวต่ำกว่าฟุ้งกระจายขึ้นมาเป็นชั้นตะกอนแขวนลอย โดยฟองก๊าซที่เกิดขึ้นและการไหลของน้ำที่เข้ามาจากด้านล่างของถังจะช่วยทำให้เกิดการผสมขึ้น

2. ส่วนตะกอนและแก๊ส เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมและลดปริมาณเซลล์แบคทีเรียที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง และทำหน้าที่รวบรวมก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป จึงมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกก๊าซ (GSS) น้ำเสียและแบคทีเรียในรูปตะกอนแขวนลอยไว้ด้านบนของถังซึ่งจะเรียกว่าเป็นอุปกรณ์ Gas-Solid Separator หรือ GSS โดยการออกแบบหลายลักษณะตามขนาดและรูปร่างของถังปฏิกริยา แต่ใช้หลักการออกแบบเดียวกันคือ

- แยกน้ำกับก๊าซโดยอาศัยหลักการที่ว่าน้ำสามารถไหลเร็วกว่าไปได้ ในขณะที่ก๊าซมีการลอยตัวจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนเป็นเส้นตรงเท่านั้น ยกเว้นมีสิ่งกีดขวางหรือแผ่นปะทะใด ๆ มาเปลี่ยนทิศทางการลอยตัวขึ้น หลังจากผ่านพื้นสิ่งกีดขวางนั้นแล้วก็จะลอยตัวเป็นเส้นตรงดั้งเดิม จึงออกแบบและติดตั้งแผ่นปะทะเพื่อขวางทิศทางการไหล ทำให้น้ำและก๊าซมาปะทะแล้วเบี่ยงเบนการไหลของน้ำและก๊าซออกจากกัน

- แยกตะกอนออกจากน้ำโดยทำให้เกิดการตกตะกอนของตะกอนแบคทีเรียที่ไหลขึ้นมา การแยกตะกอนจะเกิดในส่วนบนสุดของถัง โดยในส่วนนี้จะไม่มีการมีแก๊ส มีความปั่นป่วนต่ำ สามารถแยกน้ำและตะกอนได้โดยง่าย ดังนั้น GSS จึงต้องมีพื้นที่ส่วนที่เป็นน้ำนิ่งเพียงพอที่ตะกอนจะตกกลับมายังถังปฏิกริยาได้



รูปที่ 2.3 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ; Anaerobic Granules (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม)

ภายในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีมีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน

1. ส่วนของตะกอนชั้นล่าง (Sludge Bed) เป็นชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการตกตะกอนสูงและมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง

2. ส่วนชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket) เป็นชั้นที่ตะกอนจุลินทรีย์ลอยฟุ้งกระจายเนื่องจากน้ำเสียและก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์

3. ส่วนของอุปกรณ์แยกเมื่อดตะกอนและก๊าซชีวภาพออกจากของเหลว ที่มีชื่อเรียกเฉพาะว่า Gas-Liquid-Solid Separator (GLSS) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกก๊าซชีวภาพออกจากของผสมระหว่างก๊าซชีวภาพ น้ำและเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ที่ถูกแยกจะตกกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ น้ำเสียจะไหลออกสู่ส่วนระบายน้ำเสียด้านบน ส่วนก๊าซชีวภาพจะถูกรวบรวมเพื่อนำไปใช้ต่อไป

4. ส่วนของอุปกรณ์ในการตกตะกอน (Settlement Compartment) ในอุปกรณ์นี้เมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งแยกออกจากน้ำเสียจะตกลงสู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงที่เกิดจากน้ำหนักของเมื่อดตะกอนเอง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเมื่อดตะกอนคายก๊าซที่เป็นตัวพาให้เคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ออกไปแล้ว ทำให้สูญเสียแรงดันที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของก๊าซไป ทำให้แรงโน้มถ่วงที่เกิดจากเมื่อดตะกอนเองมากกว่าแรงลอยตัวเมื่อดตะกอนจึงตกกลับเข้าสู่ส่วนล่างของถังปฏิกรณ์ตามเดิมนั่นเอง

รายละเอียดจุดเด่นจุดด้อย (ข้อดี/ข้อเสีย) และปัญหาอุปสรรคในด้านการใช้งานของถังปฏิกรณ์ในรูปแบบนี้ คือ

จุดเด่นของถังปฏิกรณ์แบบ UASB มีดังนี้

1. จัดเป็นระบบที่สามารถรับอัตราการบำบัดสารอินทรีย์สูง (High rate anaerobic digestion) โดยสามารถรับภาระบำบัดสารอินทรีย์ได้มากถึง $20 \text{ kg COD/m}^3/\text{d}$

2. เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวกลางจึงไม่มีการสูญเสียพื้นที่ในถัง และเมื่อดตะกอนจะมีอัตราส่วนของจุลินทรีย์ต่อปริมาตรสูง ดังนั้นถังปฏิกรณ์จึงมีขนาดเล็ก รวมทั้งมีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียสั้นกว่าระบบอื่น

3. ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับวัสดุตัวกลาง อุปกรณ์ในการกวนผสมและถังตกตะกอน ทำให้ค่าก่อสร้างถังปฏิกรณ์ถูกลง

4. เหมาะกับน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยต่ำ น้ำเสียที่สารอินทรีย์ย่อยสลายง่าย เช่น น้ำเสียจากโรงงานเบียร์ น้ำหวาน เป็นต้น

ข้อจำกัดและอุปสรรคของถังปฏิกรณ์แบบ UASB มีดังนี้

1. ใช้ระยะเวลาในการเริ่มต้นระบบ (Start up) เนื่องจากต้องสร้างเม็ดตะกอน และขึ้นสัดตั้งก่อน โดยจะต้องทำการเติมเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่ถัง UASB ให้มีความเข้มข้นประมาณ 40-100 kg VSS/m³ และรักษาภาวะที่เอื้อให้เกิดการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จึงเป็นเรื่องยากและมีความซับซ้อน

2. การควบคุมดูแลระบบยุ่งยาก เนื่องจากต้องพยายามรักษาตะกอนจุลินทรีย์ในระบบให้เหมาะสม และไม่ให้เกิดการหลุดออกจากระบบ (Wash Out) รวมทั้งปัญหา Mass transfer resistance และหากเกิดสภาวะ Shock load อาจจะมีปัญหาในการลอยตัวของเม็ดตะกอน และถ้าดำเนินการไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบ

3. ต้องการบุคลากรที่มีทักษะการควบคุมดูแลระบบสูง

ข้อเสนอแนะ

1. อาจจะต้องมีขั้นตอนปรับสภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (Pretreatment) ถ้าน้ำเสียมีของแข็งแขวนลอยสูง (High suspended solid content) โดยทั่วไปค่าของแข็งแขวนลอยที่เข้าระบบ UASB ควรน้อยกว่า 1,500 mg/l

2. โดยทั่วไปอาจจะมี การทำเป็นระบบแบบสองขั้นตอน โดยมีการแยกให้มีบ่อ/ถังหมักกรด (Acid tank) ก่อน แล้วจึงป้อนเข้าสู่ถัง UASB เพื่อผลิตมีเทน

การตรวจสอบบำรุงรักษาถังปฏิกรณ์แบบ UASB

1. ระบบท่อลำเลียงน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ จะต้องหมั่นตรวจสอบให้ระบบท่อกับการกระจายน้ำอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงทั้งถังปฏิกรณ์เพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียอย่างทั่วถึง และควรควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสีย และค่าความเร็วไหลขึ้นของน้ำเสียภายในถังปฏิกรณ์ให้เหมาะสม

2. หมั่นตรวจสอบ และระมัดระวังไม่ให้ท่อลำเลียงน้ำเสียมีการอุดตัน

3. ควรทำการตรวจสอบปริมาณตะกอนและกิจกรรมของกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตมีเทน (Methanogenic activity) ในถังอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากปริมาณตะกอนจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ

4. หมั่นตรวจสอบและทำความสะอาดแผ่นช่วยตกตะกอน (ถ้ามี) ไม่ให้อุดตัน เพราะอาจทำให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนลดลง และถ้ามีน้ำหนักรวมมากจะทำให้ชุดช่วยตกตะกอนเสียหายได้

2.1.4 ระบบผลิตไฟฟ้า

1) เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง (สุเทพ ญาณวัฒน์, 2528)

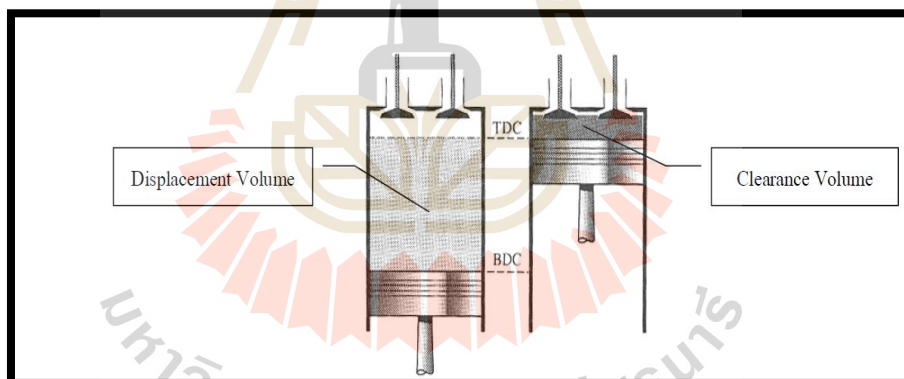
เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงเป็นเครื่องยนต์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้า นอกเหนือจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงนี้จะอาศัยการจุดระเบิดจากหัวเทียน (Spark Ignition Engine) เช่นเดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง โดยทั่วไปจะนิยมนำเครื่องยนต์ 4 จังหวะมาใช้สำหรับผลิตไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.4 การทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงจะเป็นไปตามจังหวะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ลูกสูบที่อยู่ในกระบอกสูบจะเคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง คือ ศูนย์ตายบน (Top Dead Center, TDC) และ ศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center, BDC) ดังรูปที่ 2.5 เมื่อลูกสูบอยู่ที่ TDC จะทำให้มีปริมาตรเหนือกระบอกสูบน้อยที่สุด (V_{min}) เรียกว่า Clearance Volume และเมื่อลูกสูบอยู่ที่ BDC ปริมาตรเหนือกระบอกสูบจะมากที่สุด (V_{max}) ผลต่างของปริมาตรที่ BDC กับปริมาตรที่ TDC เรียกว่า Displacement Volume และอัตราส่วนระหว่างปริมาตรมากที่สุดกับปริมาตรน้อยที่สุดเรียกว่าอัตราส่วนกำลังอัด (Compression Ratio, r)

$$r = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_{BDC}}{V_{TDC}} \quad (2.11)$$

หลักการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ในอุดมคติสามารถอธิบายได้ด้วยการทำงานตามวัฏจักรออตโต (Otto Cycle) ดังรูปที่ 2.6 เริ่มต้นจากจังหวะดูด (Intake Stroke) โดยลูกสูบจะเคลื่อนที่ลงจากตำแหน่ง TDC ไปยังตำแหน่ง BDC เพื่อดูดส่วนผสมของอากาศกับก๊าซชีวภาพผ่านลิ้นไอดีเข้ามาบรรจุในกระบอกสูบ โดยที่ลิ้นไอดียังคงปิดอยู่ จากนั้นลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นจากตำแหน่ง BDC ไปยังตำแหน่ง TDC เพื่ออัดส่วนผสมของอากาศกับก๊าซชีวภาพ โดยที่ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียทั้งคู่จะปิด จังหวะนี้เรียกว่าจังหวะอัด (Compression Stroke) แต่ก่อนที่ลูกสูบจะอยู่ตำแหน่ง TDC เพียงเล็กน้อย หัวเทียนจะทำการจุดระเบิดส่วนผสมของอากาศกับก๊าซชีวภาพ ทำให้ก๊าซที่ได้จากการระเบิดเกิดความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นจนดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ลงจากตำแหน่ง TDC ไปยังตำแหน่ง BDC ทำให้เกิดแรงหมุนเพลาล้อเหยียงให้เคลื่อนที่จนเกิดงาน จังหวะนี้เรียกว่าจังหวะระเบิด (Expansion Stroke) จากนั้นลูกสูบจะเคลื่อนที่จากตำแหน่ง BDC ไปยังตำแหน่ง TDC เพื่อขับเอาก๊าซไอเสียจากการระเบิดส่วนผสมของอากาศกับก๊าซชีวภาพ ออกจากกระบอกสูบผ่านลิ้นไอเสีย โดยที่ลิ้นไอดียังคงปิดอยู่ จังหวะนี้เรียกว่าจังหวะคาย (Exhaust Stroke) โดยการทำงานในจังหวะต่างๆนี้จะวนเวียนเป็นวัฏจักรต่อเนื่องกันไป



รูปที่ 2.4 เครื่องยนต์ใช้ก๊าซชีวภาพผลิตไฟฟ้า (กิตติ ดวงใจบุญ, 2548)

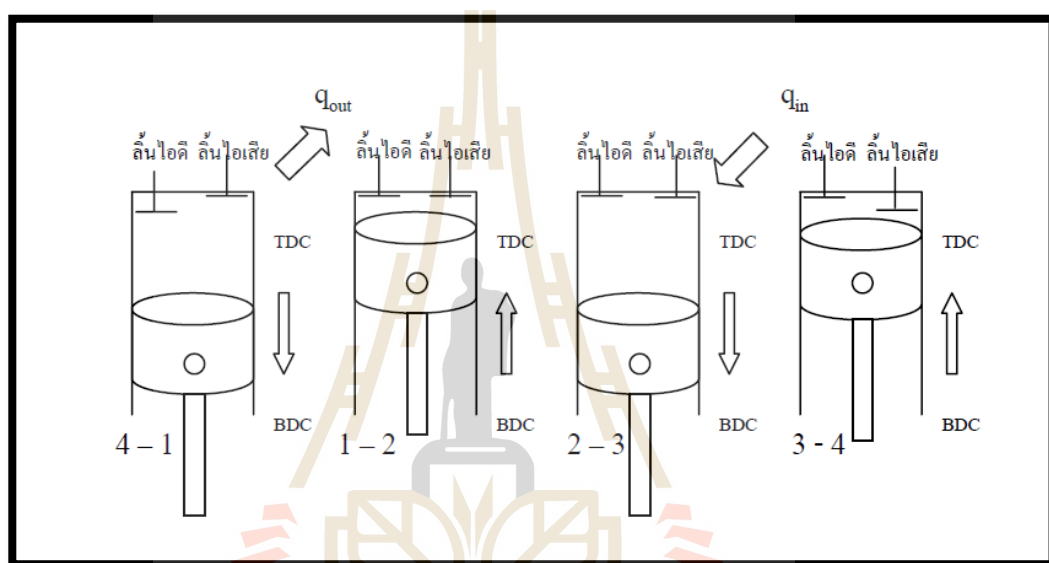


รูปที่ 2.5 ปริมาตร Displacement Volume และ Clearance Volume (กิตติ ดวงใจบุญ, 2548)

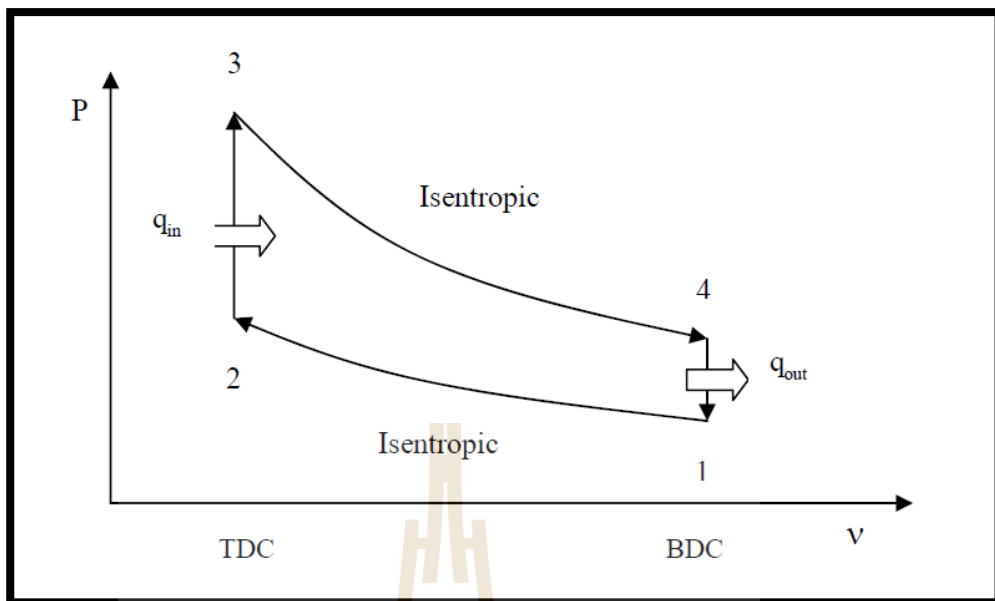
การวิเคราะห์ตามหลักอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic Analysis) ของวัฏจักรการทำงานสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง จะวิเคราะห์โดยการสมมุติให้ใช้สถานะอากาศมาตรฐาน (Air Standard Assumption) ที่มีความใกล้เคียงกับสถานะการทำงานจริง คือวัฏจักรออตโตอุดมคติ (Ideal Otto Cycle) ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการผันกลับได้ 4 กระบวนการด้วยกันคือ

- จังหวะดูด 4 – 1 เป็นกระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรเฉพาะคงที่ ($v = \text{ค่าคงที่}$)
- จังหวะอัด 1 – 2 เป็นกระบวนการอัดตัวแบบ Isentropic
- จังหวะระเบิด 2 – 3 เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรเฉพาะคงที่ ($v = \text{ค่าคงที่}$)
- จังหวะคาย 3 – 4 เป็นกระบวนการขยายตัวแบบ Isentropic

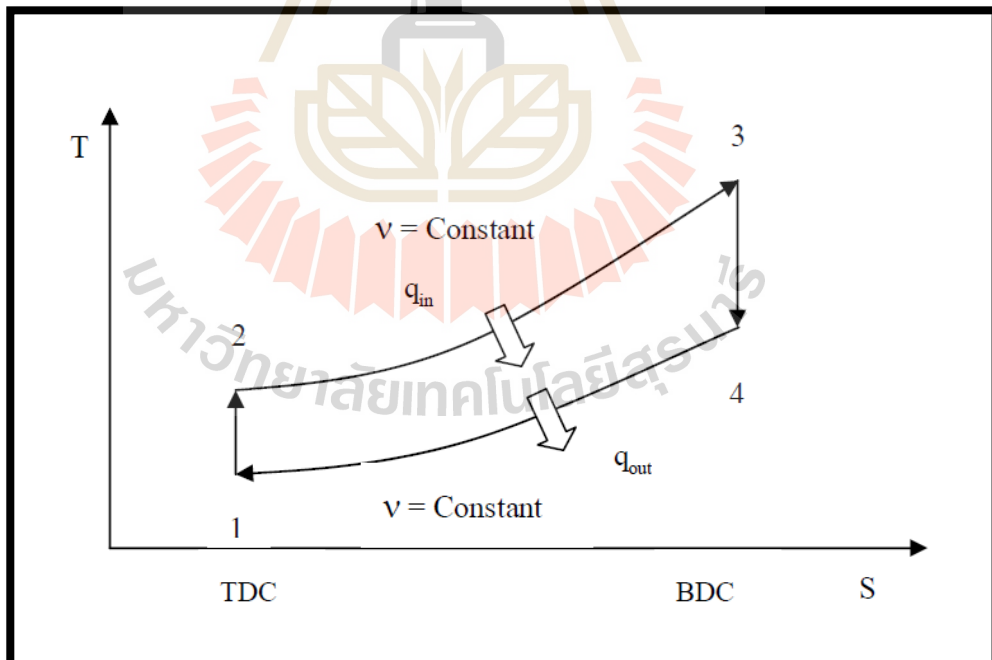
กระบวนการในวัฏจักรออตโต สามารถแสดงบนแผนภูมิ P-v และ T-s ได้ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 การทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง โดยตรงตามวัฏจักรออตโต (กิตติ ดวงใจบุญ, 2548)



รูปที่ 2.7 แผนภาพวัฏจักรออตโตอุดมคติบน P-v ไดอะแกรม (กิตติ ดวงใจบุญ, 2548)



รูปที่ 2.8 แผนภาพวัฏจักรออตโตอุดมคติบน T-s ไดอะแกรม (กิตติ ดวงใจบุญ, 2548)

2) ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง (Yunus A และคณะ, 1990)

ในการหาประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรออตโตจะวิเคราะห์โดยให้วัฏจักรออตโตเป็นระบบปิดและตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์จะได้

$$q - w = u \quad (2.12)$$

เนื่องจากไม่มีงานเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการถ่ายเทความร้อนเข้าและออกเพราะทั้งสองกระบวนการนี้เป็นกระบวนการปริมาตรคงที่ ดังนั้นความร้อนที่ถ่ายเทผ่านสารทำงานแสดงได้โดยพิจารณาภายใต้สภาวะอากาศมาตรฐานจะได้

$$q_{in} = q_{23} = u_3 - u_2 = C_v(T_3 - T_2) \quad (2.13)$$

$$q_{out} = q_{41} = u_1 - u_4 = C_v(T_4 - T_1) \quad (2.14)$$

จะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) เป็น

$$\eta_{th,otto} = \frac{W_{net}}{q_{in}} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)} \quad (2.15)$$

ขบวนการ 1 - 2 และ 3 - 4 เป็น Isentropic, $v_2 = v_3$ และ $v_4 = v_1$

จะได้

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{k-1} = \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} = \frac{T_4}{T_3} \quad (2.16)$$

ดังนั้นเมื่อแทนสมการ 2.16 ลงในสมการประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ในสมการที่ 2.15 จะลดรูปเหลือ

$$\eta_{th,otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \quad (2.17)$$

$$\text{เมื่อ} \quad r = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.18)$$

โดยที่

r คือ อัตราส่วนการอัด

k คือ ค่าอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ C_p/C_v

2.1.5 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

1) ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์(กรกมล ชูช่วย, 2551)

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment; LCA) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หรือกิจกรรมต่างๆ 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 รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร” นอกจากนี้ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (National Metal and Materials Technology Center: MTEC) ได้ให้ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตว่า “เป็นกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบกระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่/แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน” โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขอนามัยของชุมชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2) หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

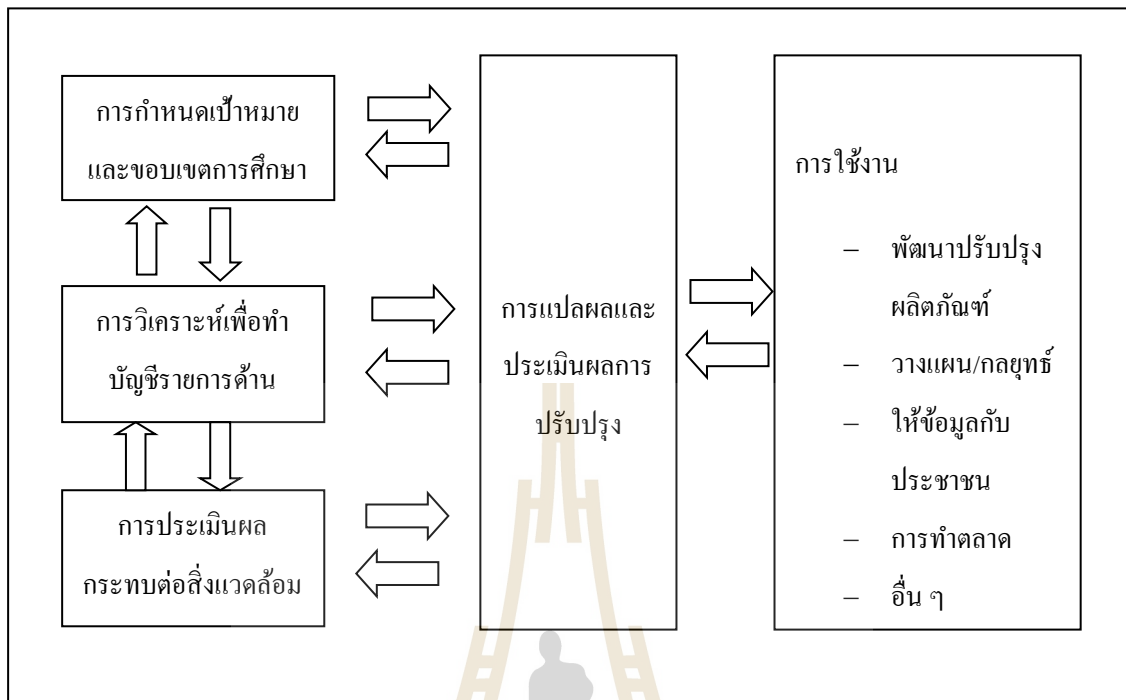
หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ซึ่งดำเนินการตามมาตรฐาน ISO 14040 ได้แก่ (1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition) (2) การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis : LCI) (3) การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment : LCIA) และ (4) การแปลผลการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Interpretation) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังแสดงในรูปที่ 2.9

-การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition)

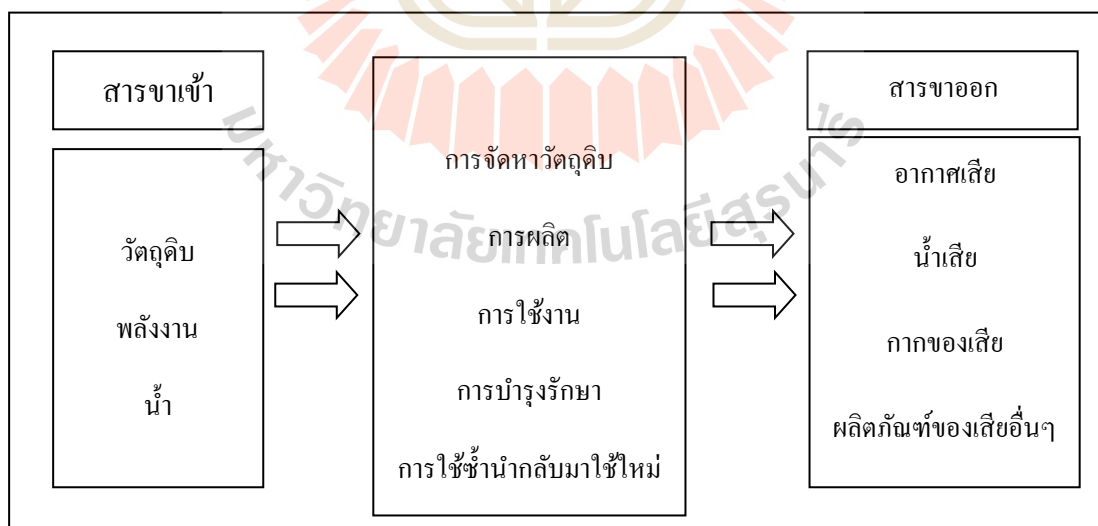
การกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ เป็นขั้นตอนแรกในการทำ LCA โดยพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษา เพื่อให้ผู้รับสามารถนำผลการประเมินไปใช้ได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะในส่วนของวิธีทำ LCA ขึ้นอยู่กับการกำหนดวัตถุประสงค์ ผลการวิเคราะห์หรืออาจผิดพลาดถ้าการใช้งานไม่ได้ถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสมเป้าหมายเป็นหัวใจสำคัญของการศึกษารายละเอียดและการสรุปผล เพราะเป้าหมายและวัตถุประสงค์จะทำให้สามารถแยกแยะความสำคัญของส่วนต่าง ๆ ของเนื้อหาได้อย่างถูกต้อง การกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ต้องครอบคลุมปัญหาเหล่านี้ ได้แก่ การนำผลการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิตไปใช้ทำอะไร การเปลี่ยนแปลงใดเกิดขึ้นเมื่อมีการนำหลักการ LCA มาพิจารณาและผลิตภัณฑ์ใหม่จะได้รับการปรับปรุงในเรื่องใดบ้าง ซึ่งทำให้เกิดผลอย่างไร

-การกำหนดขอบเขต (Scope Definition)

การกำหนดขอบเขต คือการบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่อำนวยความสะดวกต่อเป้าหมายของ LCA ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดสิ่งที่เราต้องการศึกษา รวมถึงการกำหนดหน่วยหน้าที่หรือสิ่งที่ผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ (Functional Unit : FU) การออกแบบระบบอ้างอิงหรือผลิตภัณฑ์อ้างอิงเพื่อแสดงวัตถุประสงค์ของการศึกษาการออกแบบตัวแปรการประเมินทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายของ LCA และการบ่งชี้กระบวนการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายของ LCA ซึ่งการกำหนดขอบเขตประกอบไปด้วย ขอบเขตระบบ (System Boundary) หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมหรือระบบผลิตภัณฑ์อื่น โดยที่ระบบผลิตภัณฑ์หมายรวมเอาหน่วยที่รวบรวมวัตถุดิบและพลังงานที่มีการเชื่อมโยงกัน ที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกันหรือหลายอย่าง โดยที่สามารถแบ่งขั้นตอนของทรัพยากร วัตถุดิบ หรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบก่อนมีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่างๆ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (กรกมล ชูช่วย, 2551)



รูปที่ 2.10 การกำหนดขอบเขตของระบบที่ศึกษา (กรกมล ชูช่วย, 2551)

หน่วยหน้าที่และหน่วยการทำงานของระบบ (Function and Functional Unit) ซึ่งระบบอาจมีหน้าที่หลายอย่าง และหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้นที่อาจถูกเลือกมาเพื่อทำการศึกษาค่า LCA โดยขึ้นอยู่กับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตของการศึกษา จึงต้องระบุหน้าที่ของระบบที่ทำการศึกษาให้ชัดเจน และหน่วยการทำงาน (Functional Unit : FU) ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับสารขาเข้าและสารขาออกของระบบ มีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกัน ซึ่งถือว่าเป็นพื้นฐานของ LCA ที่สามารถวัดผลความแตกต่างของระบบได้ และมีหน้าที่พื้นฐาน 3 ประการคือประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ความคงทนและคุณสมบัติพื้นฐานคุณภาพของข้อมูลที่ต้องการเนื่องจากการศึกษา LCA ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก และข้อมูลมีความแตกต่างกันทั้งที่มาและวิธีการเพื่อได้มาซึ่งข้อมูล ดังนั้นการระบุรายละเอียดและระดับคุณภาพของข้อมูลจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการใช้ผลของ LCA เปรียบเทียบกัน การกำหนดคุณภาพของข้อมูลตามมาตรฐานควรคำนึงถึงประเด็นดังนี้ ระยะเวลาที่ต้องการศึกษาเพื่อให้ทราบว่าข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงเวลาใดและระยะเวลาในการเก็บข้อมูล, เทคนิคที่ต้องการศึกษา, พื้นที่ที่ต้องการศึกษา, ความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูลและต้องเป็นตัวแทนของสภาพจริง, แหล่งที่มาของข้อมูล เพื่อสามารถตรวจสอบประเภทของข้อมูลและความถูกต้องของข้อมูล และ ความสอดคล้องต่อเนื่องของข้อมูล เพื่อตรวจสอบความผิดปกติและความไม่แน่นอนของข้อมูล (ชนากา วรณศรี, 2551)

3) การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis : LCI)

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูล หมายถึงการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ซึ่งรวมถึงการใช้ทรัพยากร การปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ อากาศ ดิน และน้ำ ข้อมูลเหล่านี้ถูกใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงจากวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ กระบวนการนี้เป็นการทำซ้ำไปซ้ำมา โดยเรียนรู้จากข้อมูลที่เก็บมาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งอาจทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีเก็บข้อมูลหรือประเด็นปัญหา (ณัฐินี ทรายแก้ว, 2555) เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้ จุดมุ่งหมายของการทำบัญชีรายการก็คือการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการที่ได้มีการนิยามไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดขอบเขต (Scope Definition) รวมทั้งการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System)

-การสร้างหน่วยของข้อมูลและการตั้งหน่วยกระบวนการ

การสร้างหน่วยของข้อมูลและการตั้งหน่วยกระบวนการการสร้างหน่วยของข้อมูลเป็นการระบุกระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบผังแสดงกระบวนการ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดหน้าที่และหน่วยการทำงาน โดยเริ่มจากการศึกษา

วัตถุดิบ การใช้พลังงาน ขั้นตอนการผลิต การขนส่ง การบริโภคและการกำจัด ซึ่งจำเป็นต้องระบุวัตถุดิบ พลังงานและกระบวนการต่าง ๆ ให้ครบถ้วนเนื่องจากมวลสารที่เข้าระบบจะต้องสมดุลกับมวลสารที่ออกจากระบบ

-การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลในแต่ละขั้นตอน ซึ่งมีความแตกต่างกันตั้งแต่การเริ่มใช้วัตถุดิบซึ่งมีหลากหลายประเภท ต้องสามารถแยกเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้ และข้อมูลเหล่านั้นต้องมีการเชื่อมโยงกัน ขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาว่าจะมีการพิจารณาละเอียดมากน้อยเท่าใด

-การคำนวณและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการรวบรวมข้อมูล หากระบบที่เกี่ยวข้องมีหลายประเภท ต้องมีการแจกแจงตามประเภทผลิตภัณฑ์ตามเหตุผลที่ชัดเจนและวิธีที่ระบุไว้ แล้วนำมาคำนวณซึ่งกระบวนการคำนวณสามารถทำได้หลายวิธี เช่น NETS (Numerical Environmental Total Standard) Method เป็นต้น ขึ้นอยู่กับผู้วิจัย นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับ LCA จำนวนมากที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองงานด้าน LCA โดยเฉพาะสามารถเลือกได้ตามชนิดและข้อมูลของงานเช่น ฐานข้อมูลโปรแกรม SimaPro ที่ถูกพัฒนาขึ้นและเป็นที่ยอมรับในวงการ LCA

-การนำเสนอของข้อมูลในรูปแบบฟอร์มที่เข้าใจง่าย

การนำเสนอข้อมูลแก่ผู้รับ เป็นส่วนสำคัญมาก เพราะการทำ LCAจะบรรลุวัตถุประสงค์ได้เมื่อผู้รับสามารถนำไปใช้ประโยชน์และเข้าใจได้ง่าย ไม่ซับซ้อน การนำเสนอข้อมูลประกอบด้วย รายละเอียดของกระบวนการผลิต คุณลักษณะของข้อมูล เช่น คุณภาพของข้อมูล ข้อจำกัด และที่มาของข้อมูล เป็นต้น รูปแบบที่เป็นที่นิยม เช่น กราฟแท่ง กราฟวงกลม

4) การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment : LCIA)

เป็นการนำข้อมูลมาทำการแปลงแยกแยะตามชนิดของผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนในการทำบัญชีรายการ (Inventory) เราจะทราบข้อมูลของการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด การแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมบางอย่างเป็นสิ่งสำคัญแต่บางอย่างไม่ใช่ เพื่อให้ LCA สามารถช่วยในการตัดสินใจ ข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการต้องได้รับการตีความก่อน ซึ่งการตีความต้องอยู่บนพื้นฐานของความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมแหล่งทรัพยากร และสิ่งแวดล้อมของสภาพการทำงาน และต้องแสดงให้เห็นว่าการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมใดที่สำคัญ

-การเลือกข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Selection) หมายถึง การเลือกข้อมูลที่เกี่ยวข้องในกระบวนการแต่ละช่วงในวัฏจักรชีวิตซึ่งทำให้

เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้แก่ ข้อมูลการใช้วัตถุดิบ การใช้พลังงาน การขนส่ง การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ การบริโภค การนำกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงการจัดโดยอาศัยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกลไกด้านสิ่งแวดล้อมและกระบวนการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเริ่มตั้งแต่จุดกำเนิดของปัญหาอันเนื่องมาจากกิจกรรมในวัฏจักรชีวิต จนถึงการแพร่กระจายมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งสร้างความเสียหายตั้งแต่ระดับท้องถิ่นจนถึงระดับโลก

-การจัดแบ่งหรือจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการ (Classification) หมายถึงการจำแนกข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกในบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถจำแนกเป็นกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง(Mid-point Impact) หรือขั้นปลายทาง (End-point Impact) โดยดูจากความสัมพันธ์ของสารขาเข้าและสารขาออกที่เป็นสาเหตุของกลุ่มผลกระทบนั้น ๆ ในการจำแนกข้อมูล มีข้อควรระวังคือการจำแนกซ้ำเนื่องจากสารบางตัวอาจเป็นสาเหตุของกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าหนึ่งประเภท เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนและเกิดฝนกรด การจำแนกสารดังกล่าวให้อยู่ในกลุ่มใด ต้องพิจารณาว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นเป็นผลกระทบโดยตรงจากสารมลพิษหรือเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากผลกระทบอีกประเภทหนึ่ง ในกรณีที่เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่ควรจำแนกซ้ำ

-การแปลงข้อมูลให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Characterization) หมายถึงการแปลงข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกใน 22 กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเดียวกันให้อยู่ในรูปค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในรูปตัวชี้วัดตามมาตรฐานที่ได้จากการเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารดังกล่าวกับสารอ้างอิงพื้นฐานเรียกว่า Equivalent or Characterization Factors โดยคำนวณจากแบบจำลองที่อธิบายกลไกทางฟิสิกส์-เคมี และวิถีทางของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ธรรมชาติที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล

-การเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม(Normalization) หมายถึง การเทียบขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษากับขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ในระดับประเทศ ภูมิภาคหรือระดับโลก ขั้นตอนนี้ทำให้สามารถเปรียบเทียบระดับความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาในภาพรวม

-การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Grouping) หมายถึง การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกเป็นหมวดหมู่ เช่น ผลกระทบต่อสุขภาพและอนามัยของมนุษย์การทำลายคุณภาพของระบบนิเวศน์ การลดลงของปริมาณทรัพยากรธรรมชาติและแหล่งพลังงานหรืออาจแบ่งเป็น

ระดับท้องถิ่นเช่น การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร และระดับโลกเช่น ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เพื่อให้ทราบขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละหมวดหมู่ในภาพรวมเป็นต้น

-การให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Weighting) หมายถึง การเปรียบเทียบความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท เรียกว่าWeighting Factor โดยเกณฑ์ในการกำหนดลำดับความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาจเป็นการเปรียบเทียบเชิงปริมาณหรือเชิงคุณภาพ ใช้หลักเกณฑ์แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ผู้วิจัยจะนำมาพิจารณา เช่น ขนาดและความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลกระทบสิ่งแวดล้อม เฉพาะประเภทที่ต้องการปรับปรุงแก้ไขการแปลงค่าความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมเป็นค่าเงินเพื่อวิเคราะห์ในทางเศรษฐศาสตร์การใช้หลักเกณฑ์เชิงสังคม เป็นต้น

-การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data Quality Analysis) หมายถึงการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ก่อนที่จะนำผลดังกล่าวไปใช้ต่อไป ปัจจัยที่นำมาพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพข้อมูล ได้แก่ ความเหมาะสมและสอดคล้องของข้อมูลที่ใช้ และข้อมูลที่ต้องการตามที่กำหนดไว้ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา โดยดูจากแหล่งที่มาของข้อมูล ช่วงเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล ความถูกต้องของวิธีการวัดและการคำนวณการเป็นตัวแทนที่เหมาะสมของข้อมูลที่ขาดหายไป ตัวอย่างเทคนิคในการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล เช่น การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล (Sensitivity Analysis) เพื่อจำแนกข้อมูล วิธีปันส่วน(Allocation) วิธีคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการตัดออก (Cut-off) เป็นต้น

5) การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)

ขั้นตอนการแปลผลของ LCA หมายถึง การนำผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูล และการประเมินผลกระทบมารวมกันเข้าเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ระบุไว้ การแปลผลอาจเป็นการทำซ้ำไปซ้ำมาเพื่อพิจารณาทบทวนจากข้อมูลและอาจต้องเปลี่ยนแปลงขอบเขตการศึกษาเพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง และคุณภาพของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ตามเป้าหมายที่กำหนด การแปลผลของการศึกษาคงจะคำนึงถึงความอ่อนไหวและความไม่แน่นอนในการวิเคราะห์ด้วย

การประเมินวัฏจักรชีวิตแบ่งการศึกษาเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการศึกษาหลักการการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA Methodology Research Team) กลุ่มการศึกษาปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับภูมิภาค (Regional Environment Research Team) กลุ่มการศึกษาระบบการใช้พลังงาน (Energy Systems Analysis Research Team) กลุ่มการศึกษาประสิทธิภาพการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Efficiency Research Team) โดยแต่ละกลุ่มมีการเชื่อมโยงข้อมูลต่อกันตลอดเวลา

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องการประเมินวัฏจักรชีวิตในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ อาทิเช่น จากพลังงานความร้อน พลังงานความร้อนร่วม พลังงานน้ำ แก๊ส ซิฟิชั่น ก๊าซชีวภาพ และ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าหรือพลังงานจากแหล่งต่างๆ

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนการประเมินวัฏจักรชีวิต

(S.M. Shafie และคณะ, 2012) ได้ทำการวิเคราะห์ประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของการผลิตไฟฟ้าจากเผาไหม้แกลบที่ได้มาจากโรงสีข้าวในประเทศไทย ซึ่งเหมาะสมทางสิ่งแวดล้อมและมีความปลอดภัยเป็นเหตุมาจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นทางออกที่น่าสนใจใน อาทิ เช่น แกลบ เป็นต้น อย่างไรก็ตามสภาพแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าที่ใช้แกลบนั้นต้องมีการทำการประเมินเพื่อให้แน่ใจว่ามีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม จากหน่วยในระบบประกอบด้วย การผลิตข้าว, การขนส่งไปยังโรงสีข้าว, กระบวนการแปรรูปข้าว และ การเผาไหม้แกลบเพื่อผลิตไฟฟ้า ในการวิจัยนี้ศึกษาหน่วยหน้าที่การผลิตพลังงานของโรงไฟฟ้าที่ 1.5 เมกะวัตต์ ชั่วโมง จากผลการศึกษาว่า กระบวนการขนส่งนั้นก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ดังนั้นจากข้อมูลการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากแกลบ เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ ผลแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่ดีกว่า ในมุมมองของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

(ธีรนนทา ฤทธิมณี และคณะ, 2551) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมซึ่งเป็นรูปแบบการใช้พลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่เป็นตัวอย่างของพลังงานสะอาด โดยก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากก๊าซธรรมชาติเกิดการเผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์ ทำให้สารพิษต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเชื้อเพลิงอื่น จากการศึกษาพบว่า ส่งผลกระทบต่อลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel Depletion) มากที่สุดและลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ (Natural Resource Depletion) ตามลำดับ ประเภทของโรงไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้ามากที่สุดของประเทศไทยจะเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมคิดเป็น 51.2% ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของประเทศไทย รองลงมาคือโรงไฟฟ้าพลังความร้อน กำลังการผลิตคิดเป็น 33% โดยโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นกังหันแก๊ส และส่วนที่เป็นพลังความร้อนทำให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมมีค่าสูงและจากการเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างระบบผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมในประเทศไทยโดยใช้เทคนิค LCA-NETS พบว่าโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมให้ประสิทธิภาพสูงกว่าและสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่า

โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส ผลกระทบที่เกิดขึ้นมากที่สุดของทุกระบวนการของโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส และพลังความร้อนร่วม เมื่อคิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้าแยกเป็นแต่ละประเภทผลที่ได้คือ ผลกระทบทางด้านการใช้เชื้อเพลิง (Fossil Fuel Depletion) มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือมลพิษทางอากาศ (Air Pollution) และการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ตามลำดับ และทั้งโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมและโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สเมื่อทำงานเข้าใกล้ค่ากำลังการผลิตสูงสุดจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ

(อรกมล เห็นชอบดี และคณะ, 2549) ทำการศึกษากระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล ซึ่งใช้แก๊สซิฟิเคชันประเภทฟลูอิดไอดีส์แบบดับเบิลแบบเป่าอากาศ ที่สภาวะความดันต่ำ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการเลียนแบบกระบวนการโดยในงานวิจัย ได้พิจารณาการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศไทยซึ่งมีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบป้อน และศึกษาถึงสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพทางความร้อนของการผลิตไฟฟ้าสูงและมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมต่ำซึ่งตัวแปรการดำเนินงานที่ทำการศึกษาคือ อัตราการป้อนวัตถุดิบ อุณหภูมิของแก๊สซิฟิเคชัน อัตราการป้อนอากาศในแก๊สซิฟิเคชัน และอัตราการป้อนอากาศในกังหันก๊าซ การประเมินวัฏจักรสิ่งแวดล้อมเป็นการหาผลกระทบของผลิตภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจของ กระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซ ซึ่งได้มาจากโปรแกรมออกแบบจำลอง Aspen. โดยจะทำการประเมินผลกระทบ 3 ระบบ คือ สุขภาพของมนุษย์, ด้านระบบนิเวศ และ การลดลงของแหล่งทรัพยากร โดยใช้วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม วิธี Eco-indicator 99 ในโปรแกรม SimaPro®. จากผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาวะการดำเนินงานของการผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซส่งผลอย่างชัดเจนต่อประสิทธิภาพทางความร้อน ปริมาณกระแสไฟฟ้าสุทธิ และสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม การใช้กะลาปาล์มเป็นวัตถุดิบป้อนจะให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าสุทธิมากที่สุด และการใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบจะให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุด แต่จากการประเมินผลทางสิ่งแวดล้อมพบว่า กะลาปาล์มให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยทางเลือกที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้ การเลือกใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบป้อนในกระบวนการผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซ

(ชนาภา วรรณศรี, 2551) ในปัจจุบันเชื้อเพลิงชีวมวลได้ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเทคโนโลยีในการเปลี่ยนรูปและใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพอย่างแพร่หลายรวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินศักยภาพและความเหมาะสมในการนำเทคโนโลยีที่มีอยู่อย่างมากมายมาใช้ในพื้นที่ต่างๆ โดยเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาและใช้กันมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทได้แก่เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน โดยเทคโนโลยีดังกล่าว

เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางความร้อนเคมีที่เปลี่ยนพลังงานที่อยู่ในรูปของของแข็งให้อยู่ในรูปของก๊าซโดยการนำเชื้อเพลิงแข็งไปเผาไหม้ในบริเวณที่มีอากาศหรือก๊าซออกซิเจนจำกัดเพื่อให้เกิดก๊าซเชื้อเพลิงซึ่งสามารถนำไปเผาไหม้ต่อไปได้โดยทั้งนี้เนื่องจากในเขตภาคเหนือมีสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชโตเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระถินยักษ์ซึ่งมีค่าความร้อนที่ความชื้น 60% เท่ากับ 12.3 MJ/kg ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความเหมาะสมในการนำเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้กระถินยักษ์เป็นเชื้อเพลิง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานทรัพยากรธรรมชาติ วัสดุคืบ และสารเคมีต่าง ๆ รวมไปถึงการปล่อยมลพิษและการเกิดขยะในขั้นตอนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกไม้ ขั้นตอนการขนส่ง ขั้นตอนการแปรรูปไม้ และขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งนับรวมตั้งแต่กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงไปจนถึงการนำเอาก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ไปเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้ในการปั่นกระแสไฟฟ้า จากนั้นจึงนำฐานข้อมูลที่ได้ใช้ในการประเมินพลังงานที่ใช้ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น และต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยอาศัยเทคนิคสมดุลพลังงาน การประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตตามลำดับ

ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าให้แก่ชุมชนถึงแม้ว่าชุมชนดังกล่าวจะมีขนาดเล็กซึ่งมีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดเพียง 63 kW ก็ตาม โดยพบว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 kWh มีค่าเท่ากับ 24.03 MJ และผลจากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ด้วยวิธี EDIP/UMIP 97 พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 1.66×10^{-4} Pt ต่อ ไฟฟ้าปริมาณ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมงที่ผลิตขึ้น โดยขั้นตอนที่เกิดผลกระทบมากที่สุดคือ ขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 70.5% ของผลกระทบทั้งหมดรองลงมาคือขั้นตอนการแปรรูป ขั้นตอนการขนส่ง และขั้นตอนการเพาะปลูก ซึ่งมีสัดส่วนผลกระทบคิดเป็นร้อยละ 26.7%, 2.0% และ 1.3% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าผลกระทบที่เกิดจากการใช้กระแสไฟฟ้าจากสายส่งซึ่งมีค่าผลกระทบอยู่ที่ 4.94×10^{-4} Pt/kWh และเมื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าพบว่าราคาต้นทุนในการผลิตมีค่าเท่ากับ 5.17 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง และค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเป็น 5.38 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมงเมื่อพิจารณารวมต้นทุนสิ่งแวดล้อมเข้าไปด้วย

(S. Ishikawa และคณะ, 2006) ทำการศึกษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพกับการย่อยแบบไม่ใช้อากาศนั้นได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในระบบการบำบัดน้ำเสียจากมูลสัตว์ของปศุสัตว์และการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเปรียบเทียบในฟาร์มที่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากส่วนกลาง จากประเด็นทางด้านพลังงาน ข้อมูลพื้นฐานจากการประเมิน

ได้มาจากการรวบรวมระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน เบลูโก, ฮอกไกโด ซึ่งสร้างขึ้นในเดือนพฤษภาคม ปี 2001 จากผลการทดลองของสถาบันวิจัยด้านวิศวกรรมโยธาของฮอกไกโด และได้ใช้วิธีประเมิน 2 วิธี อย่างแรกคือการประมาณก๊าซที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนโดยระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ประเมินการปลดปล่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 2700t. จากในช่วงเริ่มต้นการผลิตก๊าซชีวภาพ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อมีการเผาไหม้ ก๊าซชีวภาพ 1080t. นั้นไม่รวมในการปลดปล่อยมลพิษตามแนวคิดของคาร์บอนที่เป็นกลาง

(William G. Mezzullo และคณะ, 2012) ทำการศึกษาวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงาน โดยได้นำเสนอในรูปพลังงานก๊าซชีวภาพ โดยศึกษาจากถังหมักแบบไม่ใช้อากาศซึ่งใช้น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ขนาดเล็ก จากผลการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตแสดงให้เห็นถึงผลกระทบสู่สิ่งแวดล้อมและผลกระทบจากระบบผลิตพลังงาน จากผลดังกล่าวนี้ยังเปรียบเทียบการผลิตพลังงานทางเลือกอื่นๆ และการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพซึ่งถือเป็นก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นการลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยส่วนหลักจะเป็นทางเลือกในการใช้ทดแทนน้ำมันแก๊สโซลีน และ จากระบวนการผลิตปุ๋ยจากขั้นตอนการหมักแบบไร้อากาศ ในระหว่างระยะในการผลิตก๊าซชีวภาพยังพบ การปลดปล่อยแอมโมเนียและในอนาคตต้องมีการดำเนินการและแนวทางในการควบคุมการปลดปล่อยมลพิษ

(Xiaolong Wang และคณะ, 2013) ก๊าซชีวภาพมีบทบาทและหน้าที่สำคัญในการผลิตพลังงานและป้องกันมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในขณะนี้กำลังมีการพัฒนาและขยายตัวเป็นวงกว้าง อยากรมาในประเทศจีน ในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมานี้ภาคเกษตรกรรมของจีน มีการพัฒนาที่รวดเร็ว รวมถึงมีการขยายตัวของพื้นที่เพาะปลูกและปศุสัตว์ จากการศึกษาในเบื้องต้นของการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ในส่วนการประเมินและวิเคราะห์ผลขั้นต้นทั้งหมดของโครงการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศจีน โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบในทางเศรษฐศาสตร์และสมรรถภาพความหลากหลายของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และการเพิ่มขึ้นของระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ จากการค้นคว้าดังกล่าวนี้ชี้ให้เห็นว่า อัตราการนำกลับมาเป็นพลังงานจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ มีน้อยกว่าระบบผลิตพลังงานแบบเก่าเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ประสิทธิภาพพลังงานจากระบบผลิตแก๊สชีวภาพขนาดใหญ่มีมากกว่า ระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็กถึง 77.9-95.6% แต่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่มีค่าการปลดปล่อยมลพิษสูงกว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็กอยู่ 125.7-172.7 t. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีระยะเวลาในการเดินระบบ 1.16-11.87 t. มากกว่าระบบผลิตพลังงานทางเลือกอื่น แต่ยังมีน้อยกว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็กอยู่ 66.0-74.4% เนื่องจากวัตถุดิบส่วนที่ป้อนเข้ามีจำนวนไม่เพียงพอ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการติดตั้งเครื่องมือในขั้นตอนการหมักแบบไร้อากาศและขั้นตอนการผลิตไฟฟ้ามีเงินลงทุนที่สูงมาก ยิ่งไปกว่านั้นในทางเศรษฐศาสตร์ และประสิทธิภาพ

จากการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพก็ยิ่งแย่งกว่าประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนั้น Xiaolong Wang และคณะ จึงได้เสนอแนวทางในการพัฒนาอย่างยั่งยืนสำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ ซึ่งต้องมีการปรับปรุงมาตรการโดยทำการวัดผลได้ 1. กำหนดความเหมาะสมของปริมาณและอัตราส่วนของวัตถุดิบ 2. ลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องมือสำหรับการหมักแบบไร้อากาศ และ เจนเนอเรเตอร์ 3. นำไฟฟ้าที่ผลิตได้มาใช้ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

(ธนัท พูลประทีน และคณะ, 2554) ได้ทำการศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสถานบันการศึกษา โดยการคำนวณเป็นค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตามแนวทางที่ระบุใน ISO 14064-1 และ ISO/WD TR 14069 รวมทั้งแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของประเทศไทย โดยแบ่งกิจกรรมออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่หนึ่งครอบคลุม การรั่วไหลของสารทำความเย็น การใช้เชื้อเพลิงในภาควิชาวิศวกรรมเคมี ประเภทที่สองครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้า และ ประเภทที่สามครอบคลุมการเดินทางไปกลับและการรับประทานอาหารของนิสิตระดับปริญญาตรี การใช้ น้ำประปา และการใช้วัสดุจำพวก ก๊าซในโตรเจนเหลวบรรจุของห้องปฏิบัติการส่วนกลาง การใช้ กระดาษ A4 80 แกรม และการใช้กระดาษชำระของบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเคมี เป็นต้น จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมจากภาควิชาวิศวกรรมเคมีในปี การศึกษา 2553 เท่ากับ 1,036.43 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี โดยการใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่เกิดก๊าซเรือนกระจกสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 52.9 รองลงมาเป็น การเดินทางไปกลับ และการรับประทานอาหารของนิสิตปริญญาตรีคิดเป็นร้อยละ 24.7 และ 21.5 ตามลำดับ โดยกิจกรรมอื่นๆที่เหลือมีผลเพียงร้อยละ 0.81 เท่านั้น จากผลการประเมินที่ได้สามารถนำมาใช้เสนอแนะ มาตรการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของภาควิชาวิศวกรรมเคมีและนำไปสู่การวางแผนการปรับปรุงการจัดเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกของภาควิชาสำหรับการประเมินปี การศึกษา 2554 ต่อไป

(ชุติมา สุขอนันต์, 2555) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประเมินและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นตัวอย่างการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรที่มีการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมศาสตร์ โดยคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂-eq) ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆและก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งใช้แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของประเทศไทย โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 การปล่อย GHGs โดยตรง (Direct GHG emission) ประเภทที่ 2 การปล่อย GHGs ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน

(Electricity indirect GHG emission) และประเภทที่ 3 การปล่อย GHGs ทางอ้อมอื่นๆ (Other indirect GHG emission) ซึ่งเป็นทางเลือก (optional) การศึกษาประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ใช้ข้อมูลปีการศึกษา 2553 แบบรายเดือนตั้งแต่มิถุนายน 2553 ถึง พฤษภาคม 2554 ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์เป็น 3,627.53 tonCO₂-eq ต่อปี ทั้งนี้จากหลักเกณฑ์ที่กำหนดให้องค์กรแสดงค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพียงประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 เท่านั้น และยังพบอีกว่ามีแหล่งกำเนิดหลักคือการใช้พลังงานไฟฟ้า 3,387.32 tonCO₂-eq ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อปี คิดเป็นร้อยละ 93.38 รองลงมาเป็นการระเหยของการใช้สารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ คิดเป็นร้อยละ 5.59 และจากกิจกรรมอื่นๆ ที่เหลือคิดเป็นร้อยละ 1.03 และประเภทที่ 3 พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1,805.06 tonCO₂-eq ต่อปี นอกจากนี้ในปีการศึกษา 2553 กิจกรรมต่างๆของคณะวิศวกรรมศาสตร์ นี้มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเทียบต่อนิสิตเท่ากับ 488.36 kgCO₂-eq ต่อปี

(นุชนาท วรารักษ์ประภักดิ์ และคณะ, 2557) การศึกษานี้ใช้แนวคิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กรในแง่ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในพื้นที่ศึกษาโรงงานสุราแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น และใช้แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน) ประเทศไทย จำแนกกิจกรรมออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง และประเภทที่สอง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน โดยขอบเขตขององค์กรแบบควบคุมการดำเนินการ และกำหนดปีฐานเก็บข้อมูลคือ ปี พ.ศ. 2556 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึง 31 ธันวาคม 2556 ผลการศึกษาพบว่า ในปี พ.ศ. 2556 โรงงานสุรามีปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวม 24,859.68 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tonCO₂eq) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากไบโอจินิคคาร์บอน (ชีวมวลและก๊าซชีวภาพ) มากที่สุด 20,991.48 tonCO₂-eq รองลงมาคือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากแหล่งกำเนิดฟอสซิล เท่ากับ 2,010.79 tonCO₂-eq และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า 1,857.41 tonCO₂-eq คิดเป็นร้อยละ 84.44, 8.09 และ 7.47 ตามลำดับ การหมักสาเป็นกิจกรรมหลักที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในองค์กร รองลงมา คือ การผลิตไอน้ำ (จากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ) การใช้พลังงานไฟฟ้าการผลิตไอน้ำ (จากการเผาไหม้น้ำมันเตา) และการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ องค์กรเป็นเจ้าของ คิดเป็นร้อยละ 62.53, 21.91, 7.47 3.96 และ 2.26 ตามลำดับ การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสม ควรเริ่มจากวิธีที่ง่ายและใช้เงินลงทุนน้อยและอาจมีการปรับเปลี่ยนวัสดุ อุปกรณ์ และ เทคโนโลยีต่างๆ เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน รวมทั้งการศึกษาวิจัยหา

มาตรการใหม่เพื่อใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ในการดำเนินการควบคู่ไปด้วย

(พรณทิพย์ แดงอ่อน, 2557) ได้ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอุตสาหกรรมยางแผ่นรมควัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยาง จังหวัดสงขลาจำนวน 9 โรงงาน โดยวัดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ รูปแบบของการประเมินเป็นแบบไม่เต็มรูปแบบ (Cradle to Gate) เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นต้น โดยการศึกษามุ่งเน้นไปที่การประเมินทั้งในส่วนของ การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตแผ่นยางรมควัน การขนส่งผลิตภัณฑ์ และศึกษาผลของการใช้ก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียของโรงงานมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในการเผาไหม้ไม่พิน จากนั้นเป็นการเปรียบเทียบการประเมินในโรงงานที่มีการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงร่วม การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันดีเซล ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตแผ่นยางรมควัน และหาแนวทางในการลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากผลการประเมินโดยจัดลำดับความรุนแรงและความสำคัญของปัญหาจากการทำ เบนช์มาร์คกิ้ง (Benchmarking) และกำหนดข้อเสนอทางเทคโนโลยีสะอาด (CT option) ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตของโรงงานทั้ง 9 โรงงาน รวบรวมจากข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการลงพื้นที่ภาคสนาม โดยวิธีสัมภาษณ์ตามแบบสอบถามที่ได้วางไว้ร่วมกับข้อมูลทุติยภูมิ จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์สรุปผลเป็นค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางจังหวัดสงขลาทั้ง 9 โรงงาน ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันทั้ง 9 โรงงาน เท่ากับ 2.078 kgCO₂-eq ต่อกิโลกรัมยางแผ่นรมควัน ซึ่งมาจากการได้มาของวัตถุดิบ รวมการขนส่งวัตถุดิบ 1.815 kgCO₂-eq ต่อกิโลกรัมยางแผ่นรมควัน เป็นส่วนสำคัญ (87%) ระบบบำบัดน้ำเสีย 0.235 kgCO₂-eq ต่อกิโลกรัมยางแผ่นรมควัน (11.31%) จากกระบวนการผลิต 0.015 kgCO₂-eq ต่อกิโลกรัมยางแผ่นรมควัน (0.72%) และจากการขนส่งผลิตภัณฑ์ 0.011 kgCO₂-eq ต่อกิโลกรัมยางแผ่นรมควัน (0.53%) และจากการประเมินในโรงงานที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงร่วม พบว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ มีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับ กรณีที่ไม่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงร่วม และการนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่า ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากเดิมเท่ากับ 2.079 kgCO₂-eq เมื่อมีการใช้ก๊าซชีวภาพเข้ามาเป็นเชื้อเพลิงร่วมทำให้มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.914 kgCO₂-eq ซึ่งสามารถช่วยลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นได้ 0.165 kgCO₂-eq ต่อกิโลกรัมยางแผ่นรมควันและในกรณีที่มีการประเมินทางด้านพลังงานไฟฟ้าและน้ำมันดีเซลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องจักร พบว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.015 kgCO₂-eq ต่อกิโลกรัมยางแผ่นรมควัน และน้ำมันดีเซลมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 0.008

kgCO₂-eq ต่อ 1 กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน โดยผลต่างของทั้งสองกรณีเท่ากับ 0.006 kgCO₂-eq ต่อกิโลกรัมยางแผ่นรมควัน ผลจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า ข้อเสนอทางเทคโนโลยีสะอาดที่ใช้เป็นแนวทางในการลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางในจังหวัดสงขลา ที่สำคัญจะอยู่ในส่วนของการนำระบบก๊าซชีวภาพเข้ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในการรมควันยาง ซึ่งสามารถลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นได้มากที่สุด ดังนั้น การศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันของทางสหกรณ์กองทุนสวนยางในจังหวัดสงขลาต่อไป

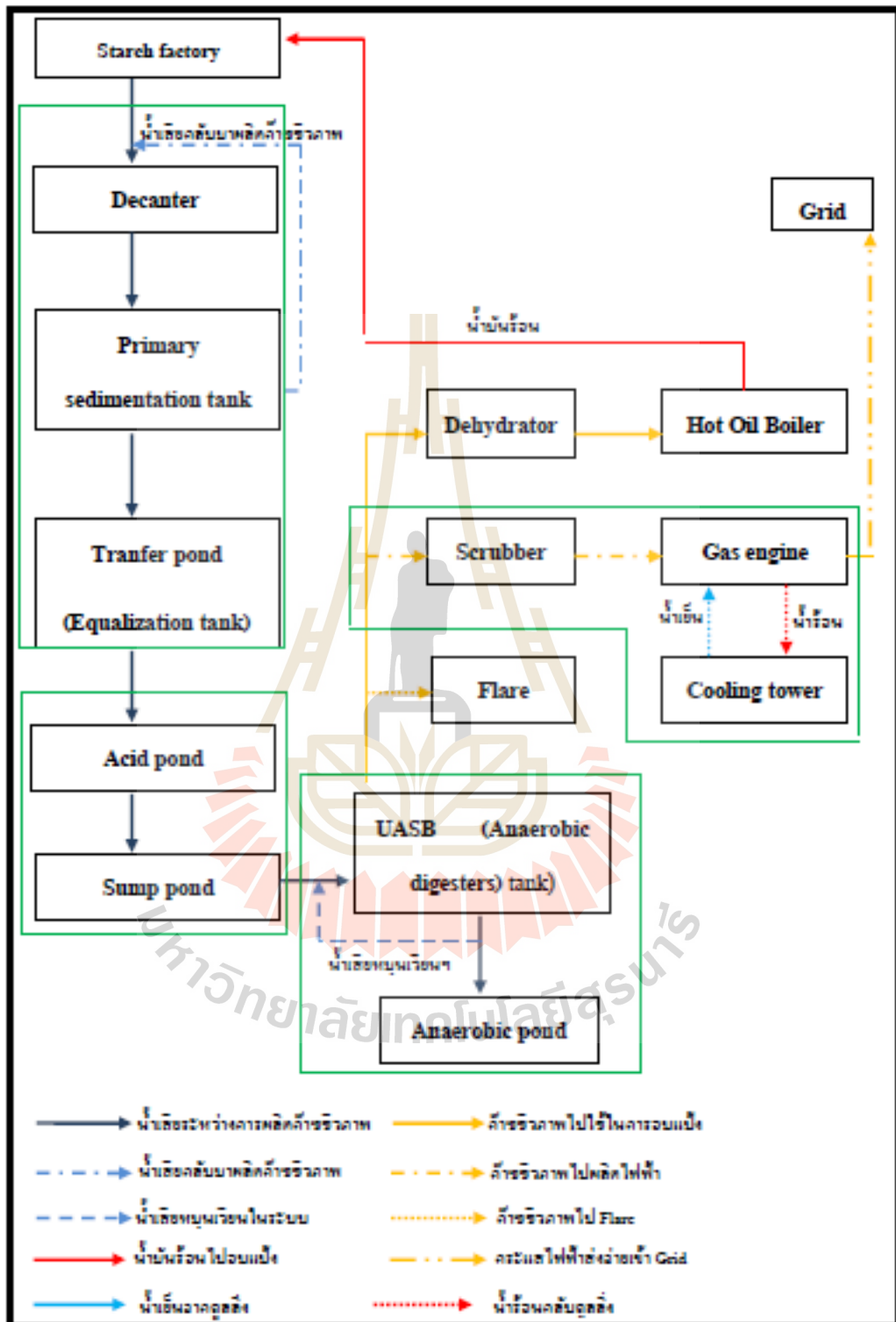
(Gyorgy Szabo และคณะ, 2014) ในการศึกษาได้ทำการตรวจสอบคาร์บอนฟุตพริ้นท์และสมดุลพลังงานประจำปีของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพในประเทศฮังการีที่กำลังผลิต 0.637 เมกะวัตต์-ชั่วโมง ในปี 2013 ซึ่งได้อ้างอิงถึงวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซชีวภาพ การประเมินวัฏจักรชีวิตได้พิจารณาถึงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Green house gases) ระหว่าง การผลิตวัตถุดิบและการขนส่ง เข้าสู่โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพระหว่าง การเดินระบบในโรงงาน และระหว่างกระบวนการทิ้งวัสดุของเสียที่ไม่เป็นอันตราย ซึ่งก๊าซเรือนกระจกจะถูกปลดปล่อยสูงสุดตั้งแต่ต้นสัมพันธกับการผลิตวัตถุดิบซึ่งใช้เครื่องจักร และ ในตรัสออกไซด์จากการผลิตปุ๋ย ในปี 2013 โรงไฟฟ้าผลิตได้ 4347.2 เมกะวัตต์-ชั่วโมง (ไฟฟ้า) และ 4,607.89 เมกะวัตต์-ชั่วโมง (พลังงานความร้อน) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของวัฏจักรชีวิตการผลิตพลังงานปลดปล่อย 208,173 kg CO₂ equivalents (CO₂e) ,ถ้าประเทศฮังการี มีการโครงสร้างทางพลังงานขึ้นนั้นจะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) มากขึ้น 15 เท่า และทำให้สมดุลพลังงานของกำลังผลิตโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึง 8955.10 เมกะวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งต้องการพลังงานแค่ 2720.26 เมกะวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งพลังงานความร้อน 1520.26 เมกะวัตต์-ชั่วโมง ทำหน้าที่เพื่อให้ความร้อนแก่บ่อหมัก มากกว่า 50% ของการผลิตพลังงานความร้อนเกิดของเสียขึ้น ดังนั้นในอนาคตจึงเป็นสิ่งสำคัญมากในการหาแนวทางการใช้ประโยชน์พลังงานให้มีคุณค่า

บทที่ 3

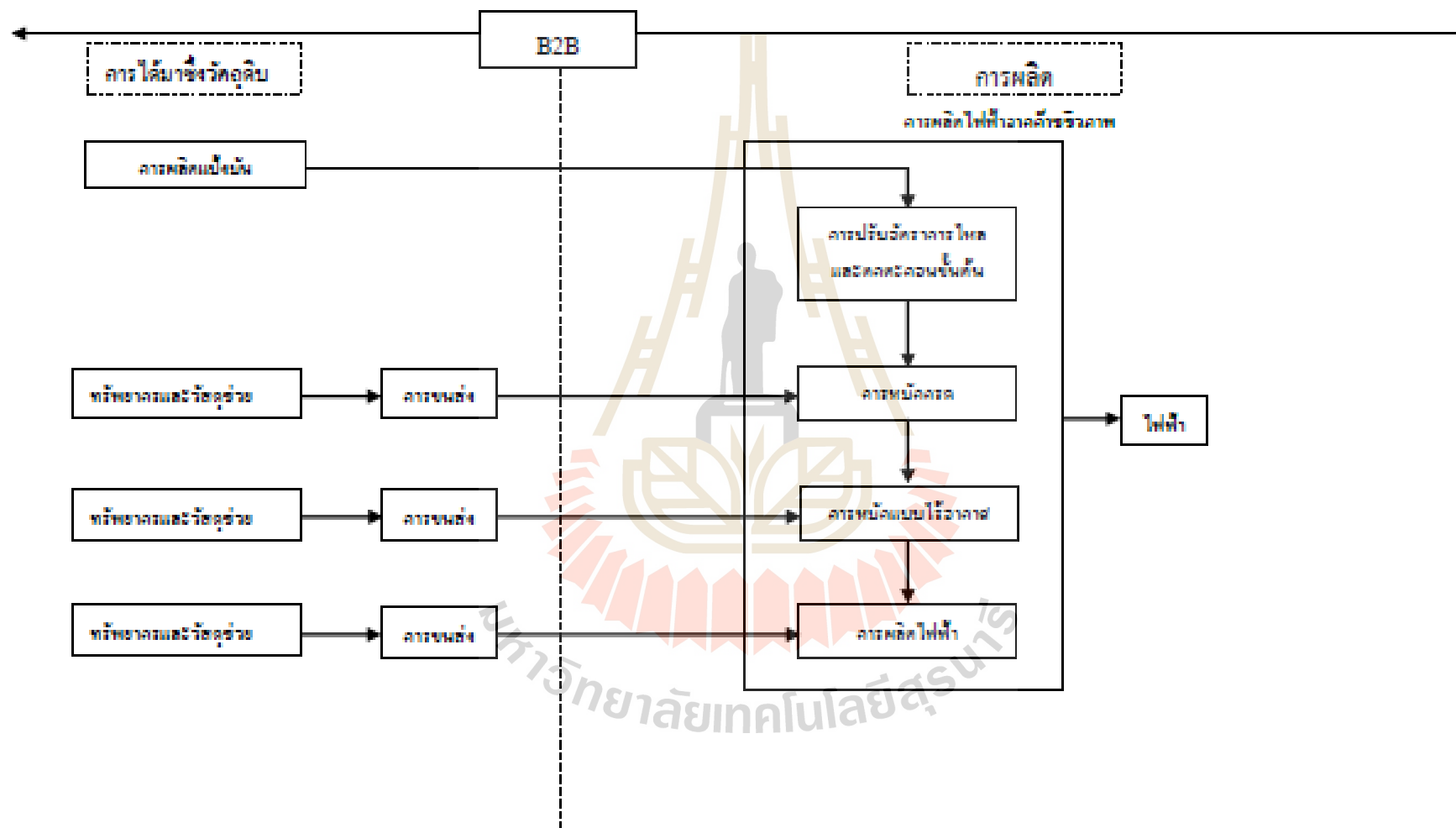
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยเป็นการรวบรวมและประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ ระบบการผลิตหรือบริการ ตลอดวัฏจักรชีวิต เริ่มต้นตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบและพลังงาน กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน การบำรุงรักษา และ การนำไปกำจัดหลังจากหมดอายุการใช้งานซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้เป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยเริ่มต้นตั้งแต่น้ำเสียจากโรงผลิตแบริ่งมันสำปะหลังเข้าสู่บ่อปรับอัตราการไหลและ บ่อดกตะกอนขั้นต้น บ่อหมักกรด ถังหมักแบบไร้อากาศ และเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 รูปแบบขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 3.2 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน

3.2 วิธีการดำเนินการ

วิธีการวิจัยดำเนินการตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งประกอบด้วย (1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition) (2) การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI) (3) การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) และ (4) การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

3.2.1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

3.2.1.1 เป้าหมายการศึกษา (Goal Definition)

- 1) เพื่อศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ
- 2) เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาหรือปรับปรุงกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเพื่อลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์

3.2.1.2 ขอบเขตการศึกษา (Scope Definition)

ทำการศึกษารีดิวซ์ก๊าซเรือนกระจกในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยใช้น้ำเสียจากโรงผลิตแป้งมันสำปะหลังและถังปฏิกรณ์หมักไร้อากาศแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) ซึ่งเป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตามรูปแบบ Cradle to Gate หรือ (Business to Business :B2B) โดยแบ่งวัฏจักรชีวิตออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการปรับอัตราการไหลและการตกตะกอนขึ้นต้น ขั้นตอนการหมักกรด ขั้นตอนการหมักแบบไร้อากาศ และขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาได้แก่ ชนิดและปริมาณการใช้ทรัพยากร ชนิดและปริมาณการใช้พลังงาน และปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือของเสียที่ออกจากการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยจะมีการจัดทำแผนผังการไหลของวัสดุ (ไม่ระบุการไหลของพลังงาน) ในศึกษานี้จะศึกษาผลกระทบโดยตรงที่เกิดจากขั้นตอนหรือวิธีการจากการใช้ทรัพยากรในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเป็นหลักเท่านั้น

หน่วยการทำงาน (Functional unit) ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถบอกได้ถึงปริมาณและความรุนแรงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในส่วนของการรีดิวซ์ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

3.2.2 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory:LCI)

เป็นการวิเคราะห์และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและปริมาณของสารที่เข้าและสารที่ออก ของการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และการรีดิวซ์ของเสียต่างๆที่เกิดขึ้น ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพภายใต้หลักการดำเนินการ LCA โดยทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือน มกราคม – ธันวาคม 2557 และข้อมูลทั้งหมดที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษานี้ เป็นข้อมูลที่ได้เก็บจริงจากกระบวนการปฐมนิ

(Primary data) และข้อมูลที่ได้จะนำมาใช้ในกระบวนการทุติยภูมิ (Secondary data) ซึ่งแบ่งการจัดทำบัญชีรายการของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ เป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1) การปรับอัตราการไหลและการตกตะกอนขั้นต้น

ขั้นตอนแรกน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแบริ่งมันสำปะหลังจะถูกจัดส่งผ่านทางระบบท่อน้ำเสียไปยัง Decanter เพื่อทำการหมุนเหวี่ยงและแยกชั้นของของแข็งออกจากน้ำเสีย จากนั้นน้ำเสียจะเข้าถังตกตะกอนขั้นต้นเพื่อแยกของแข็งที่มากับน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียที่ถูกแยกออกมาจากกระบวนการจะถูกนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอีกครั้ง เมื่อน้ำเสียผ่านการตกตะกอนแล้วก็จะถูกลำเลียงไปยัง บ่อ Transfer เพื่อปรับอัตราการไหลให้สม่ำเสมอและส่งเข้ากระบวนการหมักกรดของ บ่อ Acid ต่อไป โดยทรัพยากรที่ใช้จะแสดงในภาคผนวก ฉ ดังตารางที่ ฉ 1

2) การหมักกรด

ขั้นตอนการหมักกรดเป็นขั้นตอนการหมักน้ำเสีย เพื่อเพิ่มกรดไขมันระเหยง่าย และนำกรดไขมันระเหยง่ายในน้ำเสียที่ผ่านการหมักได้ไปเป็นแหล่งผลิตก๊าซชีวภาพในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากน้ำเสียออกจากกระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้นแล้ว และในระหว่างกระบวนการนี้จะมีการตรวจสอบค่าไขมันระเหยง่ายในห้องปฏิบัติการเพื่อควบคุมสถานะในการหมักกรดให้เหมาะสม จากนั้น โดยทรัพยากรที่ใช้จะแสดงในภาคผนวก ฉ ดังตารางที่ ฉ 2

3) การหมักแบบไร้อากาศ

ขั้นตอนการหมักแบบไร้อากาศเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปกรดไขมันระเหยง่ายที่มีในน้ำเสียที่ผ่านการหมักกรดแล้ว ให้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซอื่นๆที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศนี้จะศึกษาถึงปฏิกรณ์ในการหมักแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) ซึ่งขั้นตอนการหมักแบบไร้อากาศจะเกิดต่อจากการหมักกรดแล้ว โดยทรัพยากรที่ใช้แสดงในภาคผนวก ฉ ดังตารางที่ ฉ 3

4) การผลิตไฟฟ้า

ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจะใช้ก๊าซชีวภาพที่ได้จากขั้นตอนการหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งก๊าซที่ได้มานั้นจะถูกส่งมาผ่าน ถังดักไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S Scrubber) ซึ่งภายในจะการบรรจุมีเดียไว้สำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะเพื่อทำการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพ เพื่อให้ก๊าซชีวภาพมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ก่อนจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการสันดาปภายในเครื่องยนต์จนได้มาเป็นกระแสไฟฟ้าต่อไป โดยทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าแสดงในภาคผนวก ฉ ดังตารางที่ ฉ 4

ตารางที่ 3.1 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

กระบวนการ	ขั้นตอนย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	วิธีการรวบรวมข้อมูล
การปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น	1) Decanter 2) Primary sedimentation tank 3) transfer pond	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำเสีย (วัตถุดิบ) - ไฟฟ้า - น้ำประปา - น้ำเสียจากการตกตะกอน (ของเสีย) - น้ำเสียผ่านการตกตะกอน (ผลิตภัณฑ์) 	เก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้นโดยการตรวจวัดจริงและได้จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ <ul style="list-style-type: none"> - อัตราการไหลของน้ำเสียและค่า COD ที่เข้าระบบ - ปริมาณการใช้ไฟฟ้า - ปริมาณการใช้น้ำประปา - ปริมาณของเสีย - ปริมาณผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง

ตารางที่ 3.1 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

กระบวนการ	ขั้นตอนย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	วิธีการรวบรวมข้อมูล
การหมักกรด	1) Acid pond 2) Sump pond	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอน (วัตถุดิบ) - ไฟฟ้า - สารเคมี ฯลฯ ของห้องแล็บในการตรวจสอบและควบคุมการหมักกรด - ของเสีย - น้ำเสียผ่านการหมักกรด (ผลิตภัณฑ์) 	<p>เก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการหมักกรดโดยการตรวจวัดจริงและสัมภาษณ์จากเจ้าหน้าที่ และ ตรวจสอบยอดการใช้งานจากใบสั่งซื้อ</p> <ul style="list-style-type: none"> - อัตราการไหลของน้ำเสียและค่า COD ที่เข้าระบบ - ปริมาณการใช้ไฟฟ้า - ปริมาณการใช้สารเคมี ฯลฯ ของห้องแล็บ - ปริมาณของเสีย - ปริมาณผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง

ตารางที่ 3.1 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

กระบวนการ	ขั้นตอนย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	วิธีการรวบรวมข้อมูล
การหมักแบบไร้อากาศ	1) UASB 2) Anaerobic pond	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำเสียผ่านการหมักกรด (วัตถุดิบ) - ไฟฟ้า - สารเคมี ฯลฯ ของห้องแล็บในการตรวจสอบและควบคุมการหมักแบบไร้อากาศ - ของเสีย - ก๊าซชีวภาพ (ผลิตภัณฑ์) 	เก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการหมักแบบไร้อากาศโดยการตรวจวัดจริงและสัมภาษณ์จากเจ้าหน้าที่และตรวจสอบการใช้งานจากใบสั่งซื้อ <ul style="list-style-type: none"> - อัตราการไหลของน้ำเสียและค่าCODที่เข้าระบบ - ปริมาณการใช้ไฟฟ้า - ปริมาณการใช้สารเคมี ฯลฯ ในห้องแล็บ - ปริมาณของเสีย - ปริมาณผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง (ก๊าซชีวภาพ)

ตารางที่ 3.1 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

กระบวนการ	ขั้นตอนย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	วิธีการรวบรวมข้อมูล
การผลิตไฟฟ้า	1) Scrubber 2) Gas engine 3) Cooling tower	<ul style="list-style-type: none"> - ก๊าซชีวภาพ (วัตถุดิบ) - ไฟฟ้า - น้ำหล่อเย็น - อุปกรณ์สิ้นเปลือง ฯลฯ ของ gas engine - น้ำมันเครื่อง - มีเดีย - ของเสีย - ไฟฟ้าที่ผลิตได้ (ผลิตภัณฑ์) 	เก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยการตรวจวัดจริงและจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่และตรวจสอบการใช้งานจากใบสั่งซื้อ <ul style="list-style-type: none"> - ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในการผลิตไฟฟ้า - ปริมาณการใช้ไฟฟ้า - ปริมาณอุปกรณ์สิ้นเปลืองของ gas engine - ปริมาณใช้น้ำมันเครื่อง - ปริมาณใช้น้ำหล่อเย็น - ปริมาณของเสีย - ปริมาณผลิตภัณฑ์ (ไฟฟ้าที่ผลิตได้)

3.2.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

เมื่อได้ข้อมูลจากการจัดทำบัญชีรายการแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยอาศัยหลักการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะคำนวณออกมาในรูปแบบของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{kgCO}_2\text{-eq}$) ดังแสดงในภาคผนวก ซ.

3.2.4 การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

หลังจากที่คำนวณค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แล้วจะนำค่าที่ได้มาแปลผลข้อมูลให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ ทั้งนี้จะแปลผลในด้าน Global Warming (GW): ภาวะโลกร้อนขึ้นหรือการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas: GHG)

- เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยนำผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ มาทำการเปรียบเทียบผลกระทบของแต่ละขั้นตอนว่าเกิดจากผลกระทบในขั้นตอนใดมากที่สุด และเกิดจากสาเหตุใด หลังจากนั้นจึงเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นของแต่ละขั้นตอนว่า ผลผลกระทบที่เกิดขึ้นมาจากขั้นตอนใดมากที่สุดระหว่าง ขั้นตอนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น ขั้นตอนการหมักกรด ขั้นตอนการหมักแบบไร้อากาศ และขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากสาเหตุใดเป็นหลัก

- เปรียบเทียบระหว่างการใช้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากก๊าซชีวภาพกับการใช้ไฟฟ้าจากสายกระแสส่ง โดยนำค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพตลอดวัฏจักรชีวิตจำนวน 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และการผลิตไฟฟ้าจากสายส่งจำนวน 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง มาเปรียบเทียบผลกระทบว่าผลกระทบประเภทใดและมาจากการผลิตไฟฟ้าแบบใด

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ผลการทดลอง

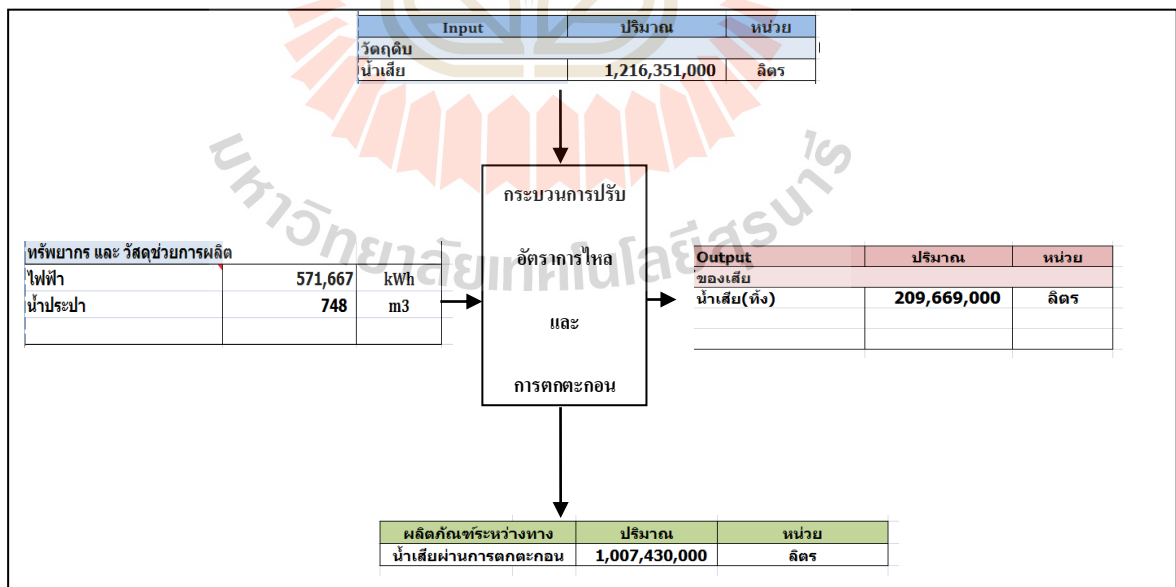
4.1.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1.1.1 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาคือ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ไฟฟ้า ซึ่งการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตการประเมินแบบ Business to Business พิจารณานักวิชาการทำงานผลิตภัณฑ์กำหนด เป็นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนต่อ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

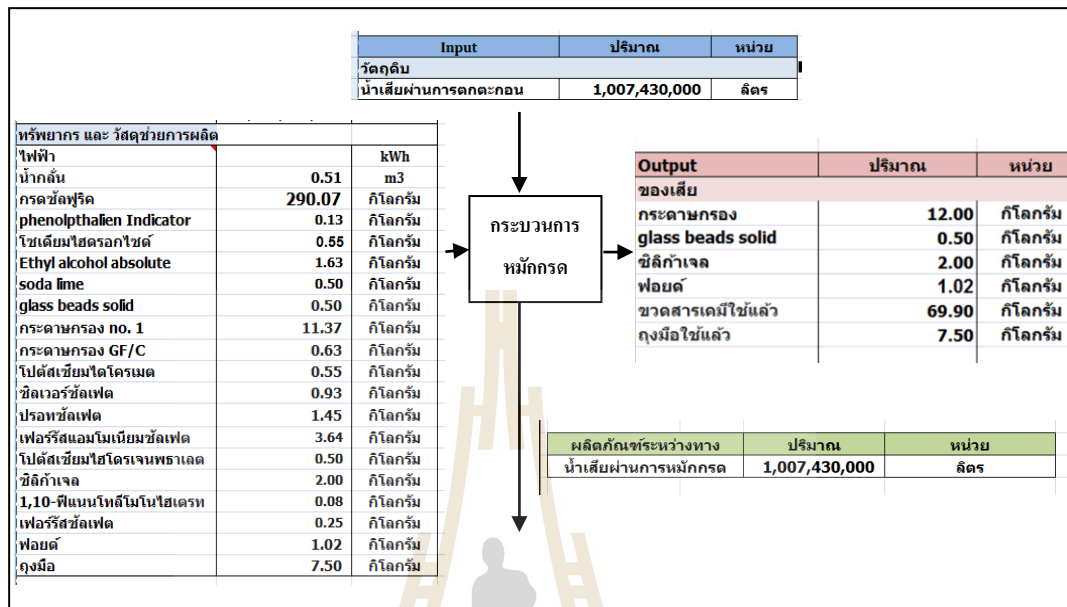
4.1.1.2 แผนภาพกระบวนการผลิตจะแสดงรายละเอียดของกระบวนการผลิต สารขาเข้า สารขาออก ผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการ และมีการแสดงปริมาณในรูปของหน่วยการทำงาน โดยแผนภาพกระบวนการผลิตจะอ้างอิงตามรูปที่ 4.2 ซึ่งแต่ละกระบวนการมีรายละเอียดดังนี้

1) กระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น



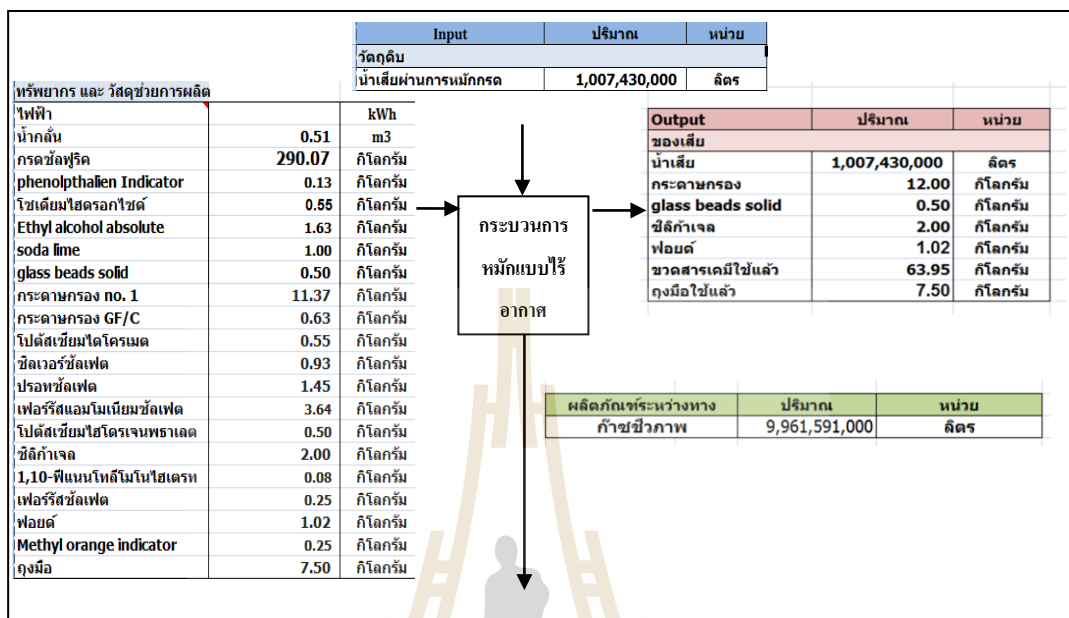
รูปที่ 4.1 สารขาเข้า สารขาออก และผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง กระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น

2) กระบวนการหมักกรด



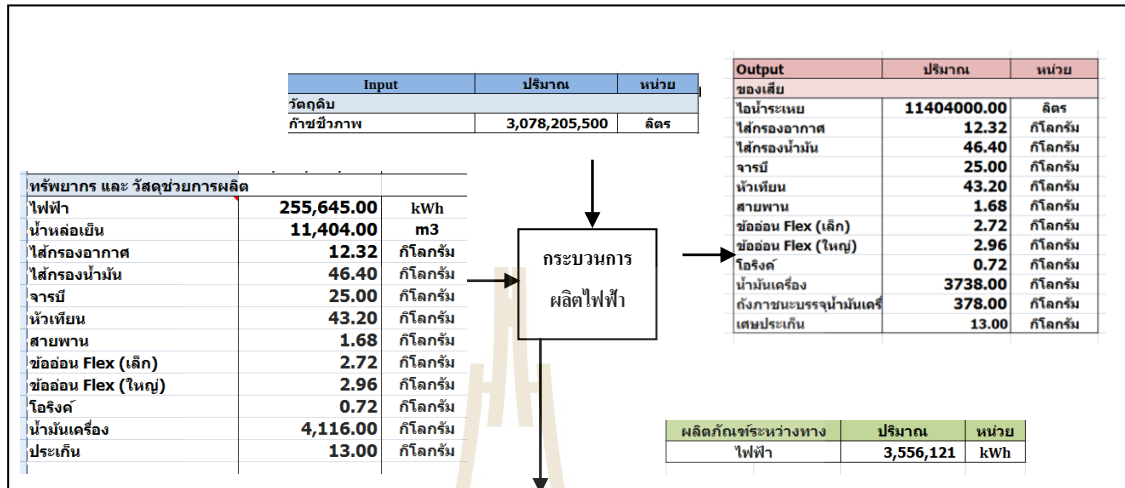
รูปที่ 4.2 สารขาเข้า สารขาออก และผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง กระบวนการหมักกรด

3) กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ



รูปที่ 4.3 สารขาเข้า สารขาออก และผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

4) กระบวนการผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 4.4 สารขาเข้า สารขาออก และผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง กระบวนการผลิตไฟฟ้า

4.1.1.3 การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะแบ่งเป็น 2 ช่วงวัฏจักรประกอบ การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบซึ่งในส่วนแรกจะไม่ได้ทำการคำนวณเนื่องจากวัตถุดิบในการศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นน้ำเสียใช้การขนส่งลำเลียงผ่านทางระบบท่อส่งน้ำเสียและจัดส่งจากแหล่งกำเนิดน้ำเสียไปยังพื้นที่ที่ทำการศึกษาวิจัยโดยตรงและการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าจากการชีวภาพในแต่ละกระบวนการ ส่วนที่สองเป็นการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งในแต่ละกระบวนการ

1) ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพโดยมีรายละเอียดดังนี้

-ช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น จะทำการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการ รายละเอียดการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งทำการการคำนวณออกไป 3 ส่วน ส่วนแรกคือ ส่วนของวัตถุดิบซึ่งเป็นน้ำเสีย จะไม่ทำการคำนวณเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการและการได้มาซึ่งน้ำเสียนั้นจะลำเลียงผ่านทางระบบทางส่งโดยใช้ปั๊มน้ำส่งจากแหล่งกำเนิดโดยตรง ส่วนที่สองคือ ทรัพยากร และวัสดุช่วยผลิต

รายการที่มีการปลดปล่อยมากที่สุดคือ ไฟฟ้า(การใช้งาน) ปริมาณการปลดปล่อย 6.76×10^{-2} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือ น้ำประปา(ใช้ล้างทำความสะอาดระบบตกตะกอนขั้นต้น) ปริมาณการปลดปล่อย 4.59×10^{-5} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ส่วนที่สามคือ ของเสีย ไม่มีการคำนวณเนื่องจากน้ำเสียจะถูกหมุนเวียนกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตในกระบวนการอีกครั้ง ผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น เท่ากับ 6.76×10^{-2} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น

รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ผลการ คำนวณ (kgCO ₂ -eq)	คำอธิบาย
วัตถุดิบ					
น้ำเสีย	kg.COD	5.473	0	0.000	-
ทรัพยากร และ วัสดุช่วยผลิต					
ไฟฟ้า	kWh.	1.61×10^{-1}	0.6090	6.76×10^{-2}	-
น้ำประปา	m ³	2.10×10^{-4}	0.7043	4.59×10^{-5}	-
ของเสีย					
น้ำเสีย	kg.cod	1.81	0	0.000	หมุนเวียนกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพซ้ำอีกครั้ง
รวม				6.76×10^{-2}	

-ช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการหมักกรด จะทำการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการ รายละเอียดการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.2 ในส่วนของวัตถุดิบไม่คำนวณเนื่องจากวัตถุดิบ (น้ำเสีย) ยังอยู่ในระหว่างกระบวนการอยู่ ในส่วนของทรัพยากร และ วัสดุช่วยผลิต รายการที่มีการปลดปล่อยมากที่สุดคือโปรทซัลเฟต ปริมาณการปลดปล่อย 1.45×10^{-5}

กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือกรดซัลฟูริก ปริมาณการปลดปล่อย 3.08×10^{-6} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ส่วนของเสีย กระจายกรอง ปริมาณการปลดปล่อย 3.06×10^{-6} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือ ถู่มือใช้แล้ว ปริมาณการปลดปล่อย 2.05×10^{-6} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการหมักกรด เท่ากับ 2.79×10^{-5} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการหมักกรด

รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ผลการ คำนวณ (kgCO ₂ -eq)	คำอธิบาย
วัตถุประสงค์					
น้ำเสีย	kg.COD	4.53	0.000	0	
ทรัพยากร และวัสดุช่วยผลิต					
ไฟฟ้า	kWh	0.00	0.6093	0.00	เป็นส่วนจากการผลิต ก๊าซชีวภาพ
น้ำกลั่น	m ³	1.43×10^{-7}	1.3664	6.08×10^{-8}	-
กรดซัลฟูริก	kg	8.16×10^{-5}	0.1219	3.08×10^{-6}	-
Phenolphthalien Indicator	kg	3.54×10^{-8}	2.23	2.44×10^{-8}	-
โซเดียมไฮดรอกไซด์	kg	1.54×10^{-7}	1.1148	5.31×10^{-8}	-
Ethy alcohol Absolute	kg	4.59×10^{-7}	0.3962	5.63×10^{-8}	-
Soda lime	kg	1.41×10^{-7}	0.782	3.41×10^{-8}	-
Glass bed solid	kg	1.41×10^{-7}	1.187	5.18×10^{-8}	-
กระจายกรอง no.1	kg	3.20×10^{-6}	1.879	1.86×10^{-6}	-
กระจายกรอง GFC	kg	1.76×10^{-7}	1.879	1.02×10^{-7}	-
โปสต์เชื่อมไดโครเมต	kg	1.56×10^{-7}	15.3	7.39×10^{-7}	-
ซิลเวอร์ซัลเฟต	kg	2.62×10^{-7}	-	-	Cut off
ปรอทซัลเฟต	kg	4.08×10^{-7}	115	1.45×10^{-5}	-

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการหมักกรด (ต่อ)

รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ผลการ คำนวณ (kgCO ₂ -eq)	คำอธิบาย
เฟอร์ริส แอมโมเนียม- ซัลเฟต	kg	1.02×10^{-6}	0.5311	1.69×10^{-7}	-
โปตัสเซียมไฮโดรเจน- พธาลเตด	kg	1.41×10^{-7}	15.3	6.67×10^{-7}	-
1,10 ฟีนานทีโมโน- ไฮเครท	kg	2.25×10^{-8}	2.23	1.56×10^{-8}	-
เฟอร์ริสซัลเฟต	kg	7.03×10^{-8}	0.117	2.55×10^{-9}	-
พอยด์	kg	2.87×10^{-7}	-	-	Cut off
ถุงมือ	kg	2.11×10^{-6}	0.616	4.03×10^{-7}	-
ของเสีย					
กระดาษกรอง	kg	3.37×10^{-6}	2.93	3.06×10^{-6}	ส่งกำจัด
Glass bed solid	kg	1.41×10^{-7}	1.187	5.18×10^{-8}	ส่งกำจัด
ซิลิกาเจล	kg	5.63×10^{-7}	2.32	4.05×10^{-7}	ส่งกำจัด
พอยด์	kg	2.87×10^{-7}	-	-	Cut off
ขวดสารเคมี	kg	1.80×10^{-7}	0	0.00	ส่งฝังกลบ
ถุงมือ	kg	2.11×10^{-6}	3.13	2.05×10^{-6}	ส่งกำจัด
รวม				2.79×10^{-5}	

-ช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ จะทำการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการ รายละเอียดการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.3 ในส่วนของวัตถุดิบไม่คำนวณเนื่องจากวัตถุดิบ (น้ำเสีย) ยังอยู่ในระหว่างกระบวนการอยู่ ในส่วนของทรัพยากร และวัสดุช่วยผลิต รายการที่มีการปลดปล่อยมากที่สุด คือปรอทซัลเฟตปริมาณการปลดปล่อย 1.45×10^{-5} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือ กรดซัลฟูริก ปริมาณการปลดปล่อย 3.08×10^{-6} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ส่วนของเสีย คือ น้ำเสีย(ผ่านการผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว)

ปริมาณการปลดปล่อย 4.39×10^{-1} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือ กระจายกรอง ปริมาณการปลดปล่อย 3.06×10^{-6} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ เท่ากับ 4.39×10^{-1} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ผลการ คำนวณ (kgCO ₂ -eq)	คำอธิบาย
วัตถุดิบ					
น้ำเสีย	kg.COD	4.50	0.000	0	
ทรัพยากร และวัสดุช่วยผลิต					
ไฟฟ้า	kWh	0.00	0.6093	0.00	เป็นส่วนจากการผลิต ก๊าซชีวภาพ
น้ำกลั่น	m ³	1.43×10^{-7}	1.3664	6.08×10^{-8}	-
กรดซัลฟูริก	kg	8.16×10^{-5}	0.1219	3.08×10^{-6}	-
Phenolphthalien Indicator	kg	3.54×10^{-8}	2.23	2.44×10^{-8}	-
โซเดียมไฮดรอกไซด์	kg	1.54×10^{-7}	1.1148	5.31×10^{-8}	-
Ethy alcohol Absolute	kg	4.59×10^{-7}	0.3962	5.63×10^{-8}	-
Soda lime	kg	1.41×10^{-7}	0.782	3.41×10^{-8}	-
Glass bed solid	kg	1.41×10^{-7}	1.187	5.18×10^{-8}	-
กระจายกรอง no.1	kg	3.20×10^{-6}	1.879	1.86×10^{-6}	-
กระจายกรอง GFC	kg	1.76×10^{-7}	1.879	1.02×10^{-7}	-
โปตัสเซียมไดโครเมต	kg	1.56×10^{-7}	15.3	7.39×10^{-7}	-
ซิลเวอร์ซัลเฟต	kg	2.62×10^{-7}	-	-	Cut off
ปรอทซัลเฟต	kg	4.08×10^{-7}	115	1.45×10^{-5}	-

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (ต่อ)

รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ผลการ คำนวณ (kgCO ₂ -eq)	คำอธิบาย
เฟอร์รัส แอมโมเนียม-ซัลเฟต	kg	1.02×10^{-6}	0.5311	1.69×10^{-7}	-
โปตัสเซียม ไฮโดรเจน-พธาลเตด	kg	1.41×10^{-7}	15.3	6.67×10^{-7}	-
ซิลิกาเจล	kg	5.63×10^{-7}	1.31	2.28×10^{-7}	-
1,10 ฟีนานทีโมโน-ไฮเดรท	kg	2.25×10^{-8}	2.23	1.56×10^{-8}	-
เฟอร์รัสซัลเฟต	kg	7.03×10^{-8}	0.117	2.55×10^{-9}	-
ฟอยล์	kg	2.87×10^{-7}	-	-	Cut off
Methyl orange indicator	kg	7.03×10^{-8}	-	-	Cut off
ถุงมือ	kg	2.11×10^{-6}	0.616	4.03×10^{-7}	-
ของเสีย					
น้ำเสีย	kg.COD	2.83×10^{-1}	5.00	4.39×10^{-1}	เข้าสู่ระบบบำบัดต่อ
กระดาษกรอง	kg	3.37×10^{-6}	2.93	3.06×10^{-6}	ส่งกำจัด
Glass bed solid	kg	1.41×10^{-7}	1.187	5.18×10^{-8}	ส่งกำจัด
ซิลิกาเจล	kg	5.63×10^{-7}	2.32	4.05×10^{-7}	ส่งกำจัด
ฟอยล์	kg	2.87×10^{-7}	-	-	Cut off
ขวดสารเคมี	kg	1.80×10^{-7}	0	0.00	ส่งฝังกลบ
ถุงมือ	kg	2.11×10^{-6}	3.13	2.05×10^{-6}	ส่งกำจัด
รวม				4.39×10^{-1}	

-ช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการผลิตไฟฟ้า จะทำการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการ รายละเอียดการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.4 ส่วนแรกคือวัตถุดิบ ปริมาณ

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัตถุดิบ คือ ก๊าซชีวภาพ (เผาไหม้) ปริมาณการปล่อยปล่อย 9.52×10^{-4} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ส่วนที่สอง ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต รายการที่มีปริมาณการปลดปล่อยมากที่สุด คือ ไฟฟ้า (การใช้งาน) ปริมาณการปล่อยปล่อย 1.31×10^{-2} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือ น้ำหล่อเย็น ปริมาณการปล่อยปล่อย 9.94×10^{-3} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ส่วนของเสียรายการที่มีปริมาณการปลดปล่อยมากที่สุด คือ ไขมันระเหย ปริมาณการปลดปล่อย 9.94×10^{-3} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือ น้ำมันเครื่อง ปริมาณการปลดปล่อย 8.75×10^{-4} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ผลรวมการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า เท่ากับ 3.61×10^{-2} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการผลิตไฟฟ้า

รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ผลการ คำนวณ (kgCO ₂ -eq)	คำอธิบาย
วัตถุดิบ					
ก๊าซชีวภาพ(เผาไหม้)	m ³	8.66×10^{-1}	0.0011	9.52×10^{-4}	เป็นส่วนจาก การใช้ความ ร้อนและ การผลิตไฟฟ้า
ทรัพยากร และวัสดุช่วยผลิต					
ไฟฟ้า	kWh	6.94×10^{-2}	0.6093	1.31×10^{-2}	เป็นส่วนจากการ ใช้ไฟฟ้า
น้ำหล่อเย็น	m ³	3.21×10^{-3}	3.0985	9.94×10^{-3}	-
ไส้กรองอากาศ	kg	3.47×10^{-6}	1.41	4.89×10^{-6}	-
ไส้กรองน้ำมัน	kg	1.31×10^{-5}	2.13	2.78×10^{-5}	-
จารบี	kg	7.03×10^{-6}	1.0547	7.42×10^{-6}	-
หัวเทียน	kg	1.22×10^{-5}	3.67	4.46×10^{-5}	-
สายพาน	kg	4.44×10^{-7}	3.5138	1.56×10^{-6}	-
ข้ออ่อน Flex (เล็ก)	kg	7.65×10^{-7}	1.6382	1.25×10^{-6}	-

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF (kgCO ₂ -eq)	ผลการ คำนวณ (kgCO ₂ -eq)	คำอธิบาย
ซื้ออ่อน Flex (ใหญ่)	kg	8.21×10^{-7}	1.6382	1.35×10^{-6}	-
โอริงค์	kg	2.04×10^{-7}	3.5138	7.17×10^{-7}	-
ประเก็น	kg	3.71×10^{-6}	1.6382	6.08×10^{-6}	-
ของเสีย					
ไอน้ำระเหย	kg	3.21×10^{-3}	3.0985	9.94×10^{-3}	-
ไส้กรองอากาศ	kg	3.47×10^{-6}	1.41	4.89×10^{-6}	-
ไส้กรองน้ำมัน	kg	1.31×10^{-5}	2.13	2.78×10^{-5}	-
จารบี	kg	7.03×10^{-6}	1.0547	7.42×10^{-6}	-
หัวเทียน	kg	1.22×10^{-5}	3.67	4.46×10^{-5}	-
สายพาน	kg	4.44×10^{-7}	3.5138	1.56×10^{-6}	-
ซื้ออ่อน Flex (เล็ก)	kg	7.65×10^{-7}	1.6382	1.25×10^{-6}	-
ซื้ออ่อน Flex (ใหญ่)	kg	8.21×10^{-7}	1.6382	1.35×10^{-6}	-
โอริงค์	kg	2.04×10^{-7}	3.5138	7.17×10^{-7}	-
น้ำมันเครื่อง	kg	1.05×10^{-3}	0.8319	8.75×10^{-4}	-
ถังภาชนะน้ำมันเครื่อง	kg	1.06×10^{-4}	1.6382	1.74×10^{-4}	-
เศษประเก็น	kg	3.71×10^{-6}	1.6282	6.08×10^{-6}	-
มีเดีย	kg	1.52×10^{-6}	0.00	0.00	-
รวม				3.70×10^{-2}	

จากผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 โดยคำนวณแยกในแต่ละกระบวนการของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ พบว่า กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด โดยมีปริมาณการปลดปล่อยเท่ากับ 4.33×10^{-1} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือ กระบวนการปรับอัตราการใช้และตกตะกอนชั้น มีปริมาณการปลดปล่อย เท่ากับ 6.76×10^{-2} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า , กระบวนการผลิตไฟฟ้ามีปริมาณการปลดปล่อยเท่ากับ

3.70×10^{-2} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และกระบวนการหมักกรดมีปริมาณการปลดปล่อย 2.79×10^{-5} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

กระบวนการ	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg.co ₂ -eq)
กระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอน ขั้นต้น	6.76×10^{-2}
กระบวนการหมักกรด	2.79×10^{-5}
กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ	4.39×10^{-1}
กระบวนการผลิตไฟฟ้า	3.61×10^{-2}
รวม	5.43×10^{-1}

1) ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ซึ่งมี 3 ช่วงวัฏจักรชีวิต ได้แก่

-ช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการหมักกรด แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการหมักกรด

รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF (kgCO ₂ -eq) Full load	ค่า EF (kgCO ₂ -eq) No load	รวมผลการ คำนวณ (kgCO ₂ -eq)	คำอธิบาย
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต						
กรดซัลฟูริก	kg	1.39×10^{-3}	0.0107	0.0000	1.49×10^{-5}	-
	kg	4.14×10^{-5}	0.1401	0.3111	7.65×10^{-6}	-
phenolphthalien Indicator	kg	1.80×10^{-8}	0.1401	0.3111	3.31×10^{-9}	-
โซเดียมไฮดรอกไซด์	kg	7.80×10^{-8}	0.1401	0.3111	1.44×10^{-8}	-

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ช่วงวัฏจักรชีวิต
กระบวนการหมักกรด (ต่อ)

รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF (kgCO ₂ -eq) Full load	ค่า EF (kgCO ₂ -eq) No load	ผลการ คำนวณ (kgCO ₂ -eq)	คำอธิบาย
Ethyl alcohol absolute	kg	2.33×10^{-7}	0.1401	0.3111	4.30×10^{-8}	-
soda lime	kg	7.14×10^{-8}	0.1401	0.3111	1.32×10^{-8}	-
glass beads solid	kg	7.14×10^{-8}	0.1401	0.3111	1.32×10^{-8}	-
โปดัสเซียมได โครเมต	kg	7.91×10^{-8}	0.1401	0.3111	1.46×10^{-8}	-
ซิลเวอร์ซัลเฟต	kg	-	-	-	-	Cut off
ปรอทซัลเฟต	kg	2.07×10^{-7}	0.1401	0.3111	3.82×10^{-8}	-
เฟอร์รัส แอมโมเนียม ซัลเฟต	kg	5.20×10^{-7}	0.1401	0.3111	9.60×10^{-8}	-
โปดัสเซียม ไฮโดรเจนซัล เฟต	kg	7.14×10^{-8}	0.1401	0.3111	1.32×10^{-8}	-
ซิลิกาเจล	kg	2.86×10^{-7}	0.1401	0.3111	5.27×10^{-8}	-
1,10-ฟีแนนโทลี โมโนไฮดรท	kg	1.14×10^{-8}	0.1401	0.3111	2.11E-09	-
ของเสีย						
กระดาษกรอง	kg	1.07×10^{-6}	0.0674	0.4246	1.25×10^{-7}	-
Glass bead solid	kg	4.44×10^{-8}	0.0674	0.4246	5.21×10^{-9}	-
ซิลิกาเจล	kg	1.78×10^{-7}	0.0674	0.4246	2.09×10^{-8}	-
พอยด์	kg	-	-	-	-	Cut off
ขวดสารเคมี	kg	5.68×10^{-6}	0.0674	0.4246	6.66×10^{-7}	-
ถุงมือ	kg	6.66×10^{-7}	0.0674	0.4246	7.82×10^{-8}	-
รวม					7.53×10^{-6}	

-ช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ช่วงวัฏจักรชีวิต
กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF (kgCO ₂ -eq) Full load	ค่า EF (kgCO ₂ -eq) No load	ผลการ คำนวณ (kgCO ₂ -eq)	คำอธิบาย
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต						
กรดซัลฟูริก	kg	1.39×10^{-3}	0.0107	0.0000	1.49×10^{-5}	-
	kg	4.14×10^{-5}	0.1401	0.3111	7.65×10^{-6}	-
phenolphthalien Indicator	kg	1.80×10^{-8}	0.1401	0.3111	3.31×10^{-9}	-
โซเดียมไฮดรอกไซด์	kg	7.80×10^{-8}	0.1401	0.3111	1.44×10^{-8}	-
Ethyl alcohol absolute	kg	2.33×10^{-7}	0.1401	0.3111	4.30×10^{-8}	-
soda lime	kg	7.14×10^{-8}	0.1401	0.3111	1.32×10^{-8}	-
glass beads solid	kg	7.14×10^{-8}	0.1401	0.3111	1.32×10^{-8}	-
กระดาษกรอง no. 1	kg	1.62×10^{-6}	0.1401	0.3111	3.00×10^{-7}	-
กระดาษกรอง GF/C	kg	8.93×10^{-8}	0.1401	0.3111	1.65×10^{-8}	-
โปตัสเซียมไดโครเมต	kg	7.91×10^{-8}	0.1401	0.3111	1.46×10^{-8}	-
ปรอทซัลเฟต	kg	2.07×10^{-7}	0.1401	0.3111	3.82×10^{-8}	-
ซิลเวอร์ซัลเฟต	kg	-	-	-	-	Cut off
เฟอร์รัส แอม โมเนียมซัลเฟต	kg	5.20×10^{-7}	0.1401	0.3111	9.60×10^{-8}	-

-ช่วงวัฏจักรชีวิตกระบวนการผลิตไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ช่วงวัฏจักรชีวิต
กระบวนการผลิตไฟฟ้า

รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF (kgCO ₂ -eq) Full load	ค่า EF (kgCO ₂ -eq) No load	ผลการ คำนวณ (kgCO ₂ -eq)	คำอธิบาย
ทรัพย์สิน และวัสดุช่วยการผลิต						
ไส้กรองอากาศ	kg	1.69×10 ⁻⁶	0.0674	0.4246	1.98×10 ⁻⁷	-
ไส้กรองน้ำมัน	kg	6.37×10 ⁻⁶	0.0674	0.4246	4.60×10 ⁻⁷	-
จารบี	kg	1.20×10 ⁻⁶	0.0674	0.4246	1.40×10 ⁻⁷	-
หัวเทียน	kg	4.72×10 ⁻⁶	0.0107	0	5.05×10 ⁻⁷	-
	kg	5.93×10 ⁻⁶	0.0674	0.4246	6.96×10 ⁻⁷	-
สายพาน	kg	2.17×10 ⁻⁷	0.0674	0.4246	2.54×10 ⁻⁸	-
ข้ออ่อน Flex (เล็ก)	kg	3.73×10 ⁻⁷	0.0674	0.4246	4.38×10 ⁻⁸	-
ข้ออ่อน Flex (ใหญ่)	kg	4.01×10 ⁻⁷	0.0674	0.4246	4.70×10 ⁻⁸	-
โอริงค์	kg	9.95×10 ⁻⁸	0.0674	0.4246	1.17×10 ⁻⁸	-
น้ำมันเครื่อง	kg	6.11×10 ⁻⁴	0.0107	0	6.54×10 ⁻⁶	-
	kg	6.11×10 ⁻⁴	0.0674	0.4246	5.48×10 ⁻⁵	-
ประเก็น	kg	1.81×10 ⁻⁶	0.0674	0.4246	2.12×10 ⁻⁷	-
มิเตอร์	kg	6.89×10 ⁻⁶	0.0674	0.4246	8.08×10 ⁻⁶	-
ของเสีย						
ไส้กรองอากาศ	kg	1.23×10 ⁻⁶	0.0674	0.4246	1.44×10 ⁻⁷	-
ไส้กรองน้ำมัน	kg	4.62×10 ⁻⁶	0.0674	0.4246	5.42×10 ⁻⁷	-
จารบี	kg	2.49×10 ⁻⁶	0.0674	0.4246	2.92×10 ⁻⁷	-
หัวเทียน	kg	1.46×10 ⁻⁶	0.0674	0.4246	1.71×10 ⁻⁷	-
สายพาน	kg	5.33×10 ⁻⁸	0.0674	0.4246	6.26×10 ⁻⁹	-
ข้ออ่อน Flex (เล็ก)	kg	9.18×10 ⁻⁸	0.0674	0.4246	1.08×10 ⁻⁸	-
ข้ออ่อน Flex (ใหญ่)	kg	9.85×10 ⁻⁸	0.0674	0.4246	1.16×10 ⁻⁸	-

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ช่วงวัฏจักรชีวิต
กระบวนการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF (kgCO ₂ -eq) Full load	ค่า EF (kgCO ₂ -eq) No load	ผลการ คำนวณ (kgCO ₂ -eq)	ค่าอธิบาย
โอริงค์	kg	2.45×10^{-8}	0.0674	0.4246	2.87×10^{-9}	-
น้ำมันเครื่อง	kg	3.72×10^{-4}	0.0674	0.4246	4.37×10^{-5}	-
ถังภาชนะน้ำมันเครื่อง	kg	3.76×10^{-5}	0.0674	0.4246	4.42×10^{-6}	-
เศษประเก็น	kg	4.45×10^{-7}	0.0674	0.4246	5.22×10^{-8}	-
มีเดีย	kg	4.80×10^{-6}	0.0674	0.4246	5.67×10^{-7}	
รวม					1.22×10^{-4}	

จากผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ แสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิต พบว่าการขนส่งในช่วงวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไฟฟ้า มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด มีปริมาณการปลดปล่อยเท่ากับ 1.22×10^{-4} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ในกระบวนการหมักกรด มีปริมาณการปลดปล่อย เท่ากับ 7.53×10^{-6} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศมีปริมาณการปลดปล่อยเท่ากับ 7.03×10^{-5} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังนั้นผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพมีปริมาณการปลดปล่อยเท่ากับ 1.36×10^{-4} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

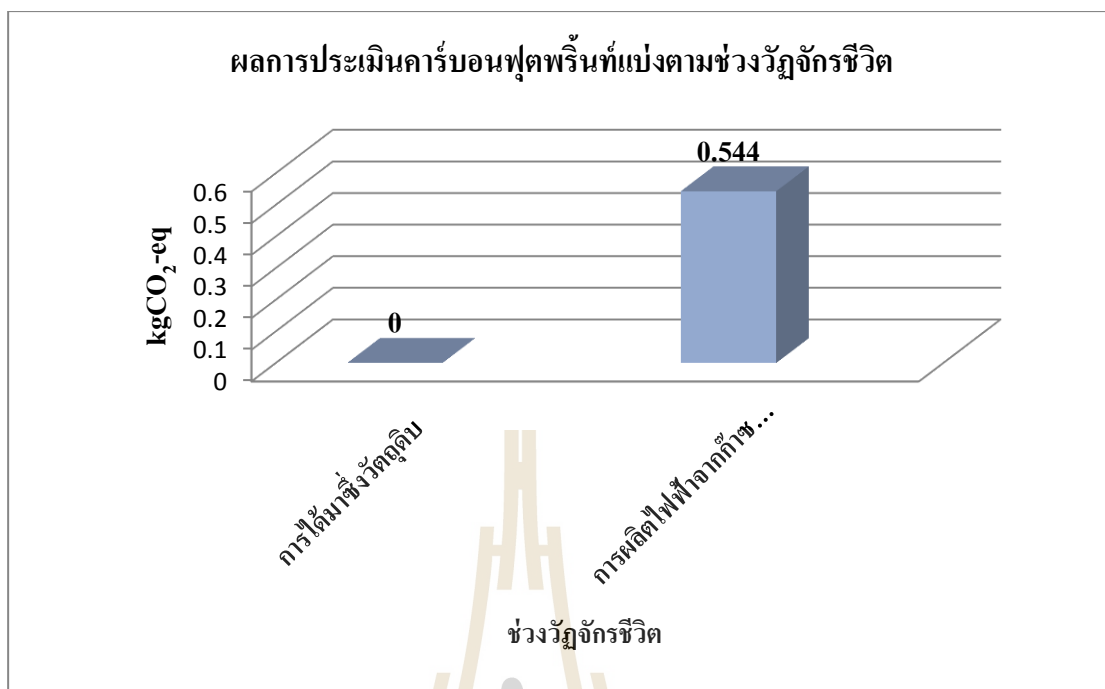
กระบวนการ	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก kgCO ₂ -eq
กระบวนการหมักกรด	7.53×10^{-6}
กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ	7.03×10^{-5}
กระบวนการผลิตไฟฟ้า	1.22×10^{-4}
รวม	1.36×10^{-4}

4.1.1.4 ผลรวมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

ผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพดังตารางที่ 4.10 พบว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพแบ่งตามช่วงวัฏจักรชีวิตเป็น 2 ช่วง คือช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ไม่ได้ทำการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากวัตถุดิบได้ถูกจัดส่งและลำเลียงผ่านทางระบบท่อน้ำเสีย และส่วนที่สองช่วงวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.544 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าคิดเป็น 100% ซึ่งเป็นช่วงวัฏจักรชีวิตที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด โดยแยกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่หนึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ มีปริมาณการปลดปล่อยเท่ากับ 0.544 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และส่วนที่สองคือการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 4.10 ผลรวมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

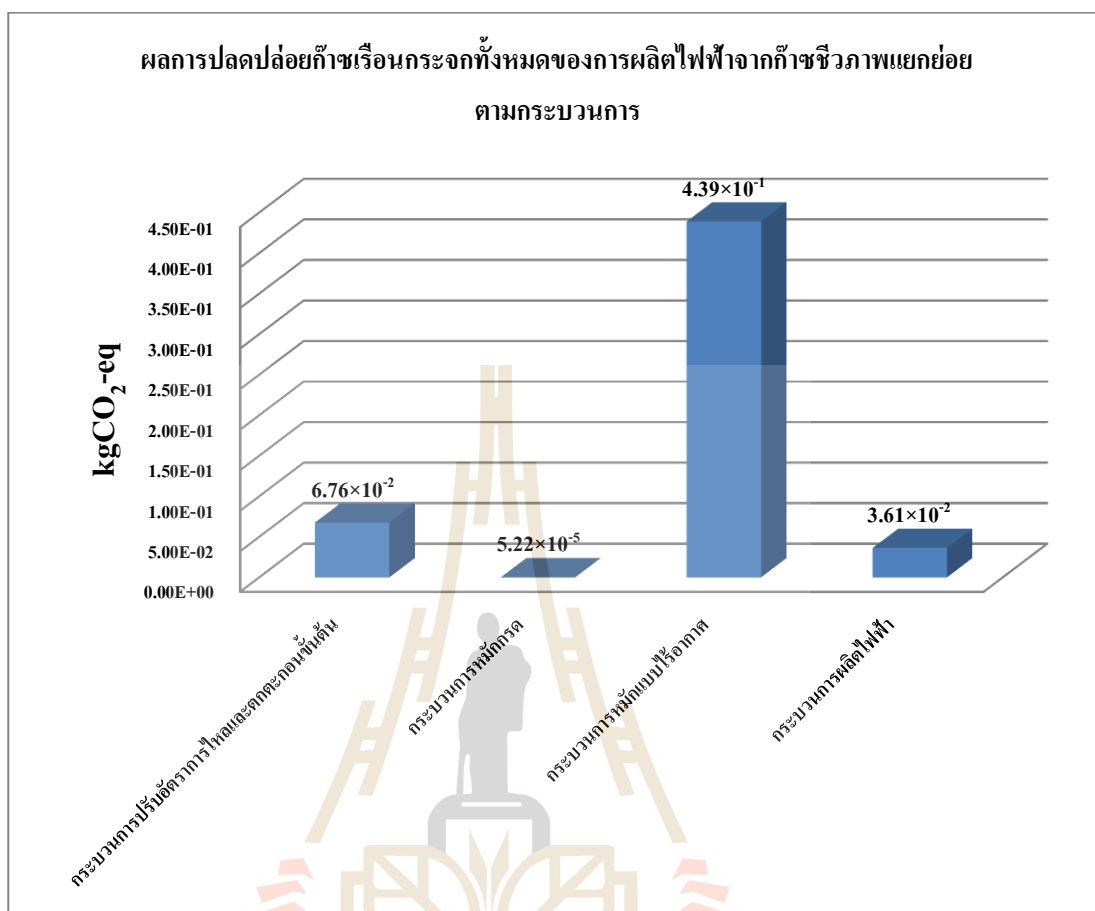
ช่วงวัฏจักรชีวิต	การปล่อย GHG ของการได้มาและการใช้ประโยชน์ วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (kgCO ₂ -eq)	การปล่อย GHG ของการขนส่ง วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (kgCO ₂ -eq)	ผลรวม (kgCO ₂ -eq)	สัดส่วน
การได้มาซึ่งวัตถุดิบ	-	-	-	-
การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ	0.544	0.000136	0.544	100%
รวม	0.544	0.000136	0.544	100%



รูปที่ 4.5 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์แบ่งตามช่วงวัฏจักรชีวิต

ตารางที่ 4.11 ผลรวมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพแยกย่อยตามกระบวนการ

ช่วงวัฏจักรชีวิต	การปล่อย GHG ของการได้มาและการใช้ประโยชน์ วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (kgCO ₂ -eq)	การปล่อย GHG ของการขนส่ง วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (kgCO ₂ -eq)	ผลรวม (kgCO ₂ -eq)	สัดส่วน
กระบวนการปรับอัตรา การไหลและตกตะกอน ขึ้นต้น	6.76×10^{-2}	0	6.76×10^{-2}	12.45%
กระบวนการหมักกรด	2.79×10^{-5}	7.53×10^{-5}	3.54×10^{-5}	0.01%
กระบวนการหมักแบบ ไร้อากาศ	4.39×10^{-1}	1.66×10^{-5}	4.39×10^{-1}	80.71%
กระบวนการผลิตไฟฟ้า	370×10^{-2}	1.22×10^{-4}	3.71×10^{-2}	6.82%
รวม			5.44×10^{-1}	100%



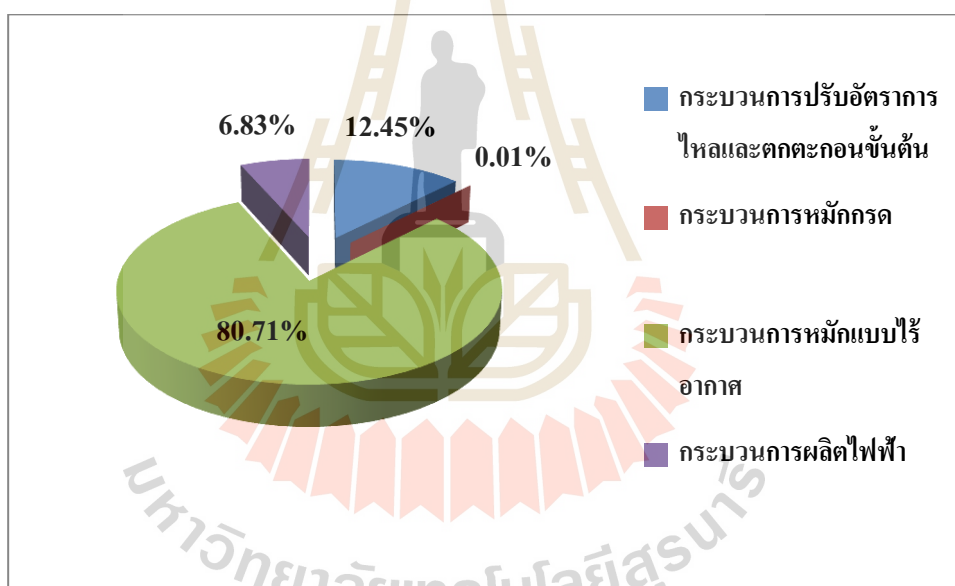
รูปที่ 4.6 ผลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพแยกย่อยตามกระบวนการ

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละกระบวนการของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์คือ ไฟฟ้า ที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยทำการเก็บข้อมูลย้อนหลังของบริษัทบูลไฟร ไบโอบี จำกัด เป็นระยะเวลาย้อนหลัง 1 ปี โดยใช้วิธีการวัดและชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ในกระบวนการต่างๆ เริ่มจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การสั่งซื้อทรัพยากรต่างๆย้อนหลัง รวมถึงการสอบถามข้อมูลจากพนักงานและผู้บริหารของ โรงงาน เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลทั้งแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิเพื่อทำการประเมินคาร์บอน

ฟุตพรีนธ์ ขอบเขตการประเมินแบบ Business to Business(B2B) พิจารณาตั้งแต่การได้มาของ วัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบและขนส่งวัสดุสนับสนุนการผลิต กระบวนการผลิต จากรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 โดยผลรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพมี คาร์บอนฟุตพรีนธ์เท่ากับ 5.44×10^{-1} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งกระบวนการที่ ส่งผลต่อคาร์บอนฟุตพรีนธ์การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพคือ กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งมี ค่าการปลดปล่อยสูงที่สุดโดยมีปริมาณคาร์บอนฟุตพรีนธ์ 4.39×10^{-1} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า คิดเป็น 80.71% ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ รองลงมาคือ กระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น, กระบวนการผลิตไฟฟ้าและกระบวนการ หมักกรด ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนฟุตพรีนธ์ 6.76×10^{-2} , 3.71×10^{-2} และ 3.54×10^{-2} กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็น 12.45%, 6.83% และ 0.01% ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแต่ละกระบวนการ

4.2.2 เปรียบเทียบระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพกับการผลิตไฟฟ้าจากสายกระแสส่ง ในประเทศ และการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งอื่น

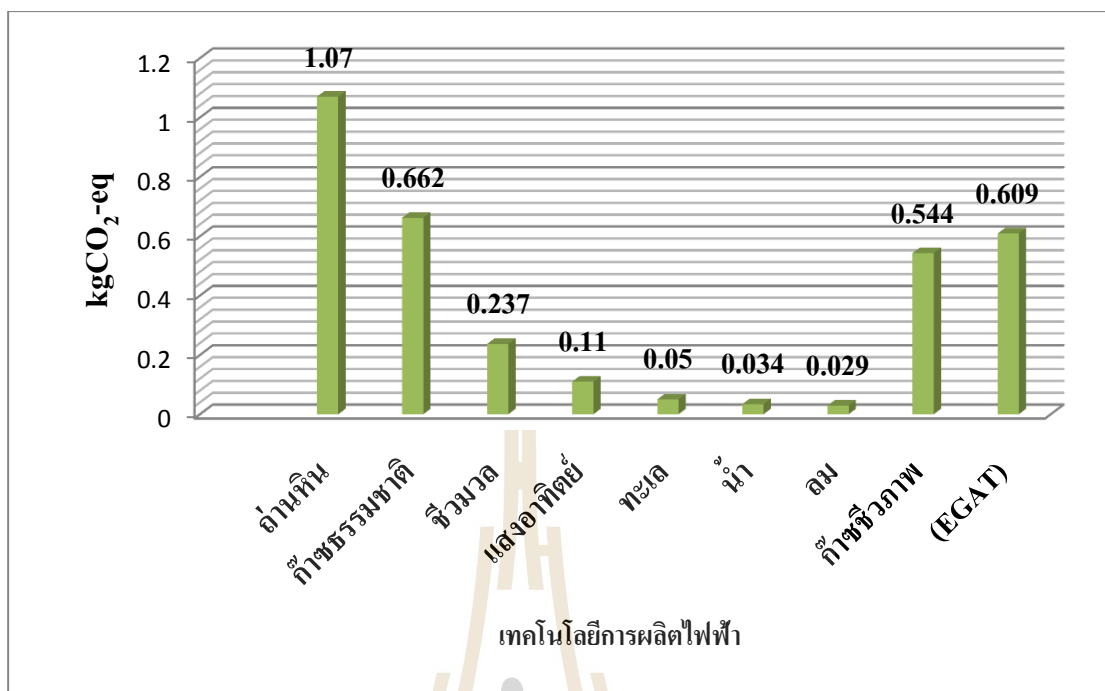
อ้างอิงข้อมูลคาร์บอนฟุตพรีนธ์ของการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีต่างๆ (Global Data, 2004-2006) แสดงดังตารางที่ 4.12 โดยประกอบด้วยเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆเช่น ถ่านหิน, ก๊าซธรรมชาติ, ชีวมวล, แสงอาทิตย์, ทะเล, น้ำ, ลม, ก๊าซชีวภาพ และการผลิตไฟฟ้าของ

ประเทศไทย (EGAT) พบว่า คาร์บอนที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินมีคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงที่สุด โดยมีค่า 1.070 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือ ก๊าซธรรมชาติ, การผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (EGAT), ก๊าซชีวภาพ, ชีวมวล, แสงอาทิตย์, ทะเล, น้ำและ ลม โดยมีคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 0.662, 0.609, 0.544, 0.237, 0.110, 0.050, 0.034 และ 0.029 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าในแต่ละเทคโนโลยี

เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า)	อ้างอิง
ถ่านหิน	1.070	Global data, 2004-2006
ก๊าซธรรมชาติ	0.662	Global data, 2004-2006
ชีวมวล	0.237	Global data, 2004-2006
แสงอาทิตย์	0.110	Global data, 2004-2006
ทะเล	0.050	Global data, 2004-2006
น้ำ	0.034	Global data, 2004-2006
ลม	0.029	Global data, 2004-2006
ก๊าซชีวภาพ	0.544	งานวิจัยนี้
การผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (EGAT)	0.609	Thai Electricity, grid mix 2009

ที่มา: Global data, 2004-2006



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าในแต่ละเทคโนโลยี

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ กรณีศึกษา ระบบยูเอเอสบีขนาดเล็ก ศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และทำบัญชีรายการสารขาเข้า สารขาออกและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ การเก็บข้อมูลประกอบด้วยข้อมูลปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิ ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานซึ่ง บริษัท บูลไฟร ไบโอ จำกัด ไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ จึงต้องทำการปันส่วนจากก๊าซชีวภาพที่ได้ของระบบยูเอเอสบี โดยทำการปันส่วนการใช้ไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ด้าน ความร้อนและ นำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า กรณีของเสียทำการกำจัดโดยการฝังกลบและส่งกำจัด โดยการขนส่งระยะทาง 120, 316, และ 354 กิโลเมตร โดยเที่ยวไปบรรทุกเต็มน้ำหนักบรรทุกเที่ยว กลับไม่มีการบรรทุก และใช้รถบรรทุกขนาด 6 ล้อ 8.5 ตัน

จากผลการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ กรณีศึกษา ระบบยูเอเอสบีขนาดเล็ก ของบริษัท บูลไฟร ไบโอ จำกัด มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณ 0.544 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่อผลิตภัณฑ์ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยมีกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งมีค่าการปลดปล่อยสูงที่สุด โดยมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 4.39×10^{-1} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็น 80.71% ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมดของ ผลิตภัณฑ์ ซึ่งในกระบวนการนี้ มีรายการที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในช่วงวัฏจักรนี้ คือ น้ำเสียที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ ในลำดับถัดมา คือ กระบวนการปรับอัตราการไหลและ ตกตะกอนขั้นต้น, กระบวนการผลิตไฟฟ้าและกระบวนการหมักกรด ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนฟุต

พรีนที่ 6.76×10^{-2} , 3.71×10^{-2} และ 3.54×10^{-5} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็น 12.45%, 6.83% และ 0.01% ตามลำดับ

แนวทางการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

-ช่วงวัฏจักรชีวิตการผลิตในส่วนกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ สาเหตุจาก น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการหมักแบบไร้อากาศมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด เนื่องจากปริมาณน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศนั้นมีปริมาณมากและยังถูกส่งไปบำบัดต่อยังระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศ ซึ่งมีความลึกของบ่อเกิน 2 เมตร ทำให้มีค่าการปลดปล่อยมลพิษที่สูงจึงมีแนวทางการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนี้

-ควรปรับเปลี่ยนระบบบำบัดน้ำเสียจากระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศเป็นระบบบำบัดแบบเติมอากาศแทน เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศ มีความลึกของบ่อเกิน 2 เมตร ทำให้ในระหว่างการบำบัดน้ำเสียนั้น มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ที่มากกว่าการบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ จนส่งผลโดยตรงต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์

-ควรเพิ่มประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆให้เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลโดยตรงให้ค่า COD ในน้ำเสียจากการหมักแบบไร้อากาศมีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ลดลงไปอีกด้วย

-น้ำเสียที่ออกจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศนั้นควร หมุนเวียนน้ำบางส่วนกลับไปใช้ในกระบวนการอีกครั้ง เช่นน้ำไปใช้ล้าง ถังตกตะกอนขึ้นต้นทดแทนการใช้น้ำปะปา และนำน้ำเสียบางส่วนไปใช้ในพื้นที่ทางเกษตรกรรมรอบบริเวณโรงงาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1)ควรมีการศึกษาและพัฒนาฐานข้อมูลหรือข้อกำหนดของกลุ่มเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้ากลุ่มต่างๆขึ้น เนื่องจากรายการสาขาเข้าและ สาขาออกบางรายการ ไม่มีค่า Emission Factor ทำให้ผลการประเมินที่ได้ขาดความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

2)ควรติดตั้งมิเตอร์วัดไฟฟ้าในแต่ละกระบวนการย่อยเพื่อเพิ่มคุณภาพและความน่าเชื่อถือของข้อมูลให้ถูกต้องและเป็นจริงมากขึ้น

3)ควรทำการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพอื่นๆเพิ่มเติม

รายการอ้างอิง

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และ การใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.**

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์กรมหาชน). (2555). **แนวทางด้านการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้านบริการ.ครั้งที่1.บริษัทวิสต้า อินเทอร์เน็ต จำกัด : กรุงเทพมหานคร.**

กิตติ ดวงใจบุญ. (2548). **การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพและการทำความเย็นแบบระเหยในโรงเลี้ยงสุกร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.**

กรกมล ชูช่วย. (2553). **การเปรียบเทียบผลกระทบล้างแวดล้อมในการเลือกใช้ก๊าซเรือนกระจกในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ : กรณีศึกษาในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.**

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2549). **คู่มือเทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.**

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2549). **หลักสูตรเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมและมูลสัตว์. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.**

ชนภา วรณศรี. (2551). **การประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนผลิตรถไฟฟ้าจากแก๊สซิพีเคชั่นของไม้โตเร็ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.**

ชุติมา สุขอนันต์. (2555). **การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์และแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

- ณัฐกานต์ สมด้ว. (2553). การประเมินสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมของอาคารที่พักอาศัยโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นุชนาท วรารักษ์ประจักษ์, ลำไย ธีรัตน์พันธุ์ และ เตือนใจ ดุลย์จินดาชบาพร. (2557). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานสุรา
- พรรณทิพย์ แดงอ่อน. (2557). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน: กรณีศึกษาโรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยาง จ.สงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชนัท พูลประทีน, มนต์รี สว่างพฤกษ์ และ ชำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. (2554). การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมและเคมีประยุกต์ประเทศไทย ครั้งที่ 21. 10-11 พฤศจิกายน 2554 อำเภอบางใหญ่ จังหวัดสงขลา.
- ธีรนนทา ฤทธิมณี, จิรวรรณ เตียรต์สุวรรณ และ ทะนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2551). การเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างระบบผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สกับระบบผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมในประเทศไทยโดยใช้เทคนิค LCA -NETS. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- รุ่งฤดี บุญคู่. (2551). การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากการชีวมวลในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพลังงานทดแทน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ณัฐธินี ทรายแก้ว. (2555). การปรับปรุงกระบวนการผลิตลีนจี้กระป๋องโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุเทพ ญาณวัฒน์. (2528). เครื่องยนต์สันดาปภายใน. อาจารย์แผนกช่างยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตนนทบุรี.
- อรกมล เห็นชอบดี, สุเทพ เขียวหอม และ ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ. (2549). การประเมินวัฏจักรชีวิต การศึกษาระบบการผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วมกับระบบการผลิตก๊าซจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- Gyorgy Szabo, Istvan Fazekas, Szilard Szabo, Gergely Szabo, Tamas Buday, Monika Paladi, Kriszatian Kisari, Attila Kerenyi. (2014). **The carbon footprint of a biogas power plant.** Environmental Engineering and Management Journal. 11: xxxx-xxxx
- S. Ishikawa, S. Hoshiba, T. Hinata, T. Hishinuma, S. Morita. (2006). **Evaluation of biogas plant from life cycle assessment (LCA).** International Congress Series. 1293: 230-233
- S.M. Shafie, T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki, B.Rismanchi, and a*. (2012). **Life cycle assessment (LCA) of electricity generation from rice husk in Malaysia.** Energy Procedia. 14: 499-504
- Stephanie Baldwin. (2006). **Carbon footprint of electricity generation** [On-line]. Available: <http://www.parliament.uk/post>
- William G. Mezzullo, Marcelle C. McManus, and Geoff P. Hammond. (2012). **Life cycle assessment of a small-scale anaerobic digestion plant from cattle waste.** Applied Energy. 102: 657-664
- Xiaolong Wang, Yuanquan Chen, Peng Sui, Wangsheng Gao, Feng Qin, Xia Wu, and Jing Xiong. (2013). **Efficiency and sustainability analysis of biogas and electricity production from a large-scale biogas project in china : an emergy evaluation based on LCA.** Journal of Cleaner Production. xxx: 1-12.
- Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. (1990). **Thermodynamics.** Bangkok. McGraw Hill.



ภาคผนวก ก

กระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น



รูปที่ ก.1 บ่อปรับอัตราการไหล (Decanter tank)



รูปที่ ก.2 บ่อดกตะกอนขั้นต้น (Primary Sedimentation Tank)



รูปที่ ก.3 บ่อปรับอัตราการไหล (Transfer tank)





ภาคผนวก ข

กระบวนการหมักกรด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ข.2 บ่อหมักกรด1



รูปที่ ข.2 บ่อหมักกรด2



ภาคผนวก ค

กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ



รูปที่ ค.1 บ่อ sump1



รูปที่ ค.2 บ่อ sump2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ค.1 ถังยูเอสบี





ภาควิชาวิศวกรรม

การผลิตไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ง.1 ถังดักไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)



รูปที่ ง.2 Gas Engine



รูปที่ 3.3 Cooling Tower





คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint: CF)

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ หมายถึง “ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วย ตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle) ของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂-equivalent หรือ CO₂-eq)” (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2555) โดยเหตุผลที่ใช้หน่วยเทียบเท่ากับ CO₂ นั้น เนื่องจากก๊าซเรือนกระจกมีหลายชนิดและแต่ละชนิดมีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ไม่เท่ากัน จึงใช้ CO₂ เป็นก๊าซเรือนกระจกอ้างอิงเมื่อเทียบกับก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงก๊าซเรือนกระจก 6 ชนิด (ตามที่ควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโต) ซึ่งใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนที่แตกต่างกัน

ตารางที่ จ.1 ก๊าซเรือนกระจก 6 ชนิดที่ใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และ ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก	สูตรเคมี	ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (GWP) เมื่อเทียบเท่ากับคาร์บอนไดออกไซด์
คาร์บอนไดออกไซด์	CO ₂	1
มีเทน	CH ₄	25
ไนตรัสออกไซด์	N ₂ O	298
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน	HFC _s	77-14,800
เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน	PFC _s	7390-12,200
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์	SF ₆	22,800

ที่มา: IPCC (2006)

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ หรือ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ 1) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง (direct emission) คือ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ ในพื้นที่หรือบริเวณที่มีกิจกรรมต่างงั้นเกิดขึ้น เช่น การเผาไหม้ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ หรือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ เพื่อนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ ซึ่งก๊าซเรือนกระจกจะถูกปลดปล่อยออกมาโดยตรงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านั้น 2) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (indirect emission) คือ ก๊าซเรือนกระจกที่ไม่ได้ถูกปลดปล่อยโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ แต่เกิดขึ้นในพื้นที่หรือบริเวณอื่นๆ ที่

เกี่ยวข้องกับกิจกรรมอื่นๆ เช่น การใช้ไฟฟ้าในการขนส่งน้ำเสียไปสู่ถังปฏิกรณ์ ซึ่งก๊าซเรือนกระจกไม่ได้ถูกปลดปล่อยออกมาระหว่างที่มีการใช้ไฟฟ้า แต่ก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นที่โรงไฟฟ้าที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆเพื่อผลิตไฟฟ้าเป็นต้น

1) ขอบเขตและรูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถดำเนินการได้ใน 2 เขตหลักคือ

-แบบ Business-to-Consumer (B2C) หรือ Cradle to Grave เป็นการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่งและกระจายสินค้า การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์

-แบบ Business-to-Business (B2B) หรือ Cradle to Gate / Gate to Gate เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิต ณ โรงงานพร้อมส่งออก หรือ จนถึงที่เป็นสาขาเข้าหรือวัตถุดิบของผู้ผลิตรายต่อไป

2) บทนิยาม (Terms and Definitions)

-การเก็บกักคาร์บอน (Carbon storage) การเก็บกักคาร์บอน โดยกระบวนการทางชีวภาพหรือที่มีอยู่ในอากาศ ให้อยู่ในรูปแบบที่ไม่ใช่ก๊าซที่พบในชั้นบรรยากาศ

-การชดเชย (Offsetting) การนำปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากกิจกรรมการดำเนินงานต่างๆขององค์กรซึ่งไม่มีความเกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการประเมินมาหักลบ เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์

-การปัดส่วน (Allocation) การแบ่งส่วนปริมาณสาขาเข้า และ/หรือ สาขาออกของกระบวนการหรือระบบของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาไปยังผลิตภัณฑ์เป้าหมายและผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่เกิดขึ้นในระบบของผลิตภัณฑ์

-การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emission) มวลสารทั้งหมดของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศในช่วงเวลาหนึ่ง

-การดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Removal) มวลสารทั้งหมดของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกดึงออกจากบรรยากาศในช่วงเวลาหนึ่ง

-การปล่อยก๊าซเรือนกระจกช่วงต้นน้ำ (Upstream emissions) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงก่อนเข้าสู่วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป้าหมาย ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตหรือได้มาซึ่งวัตถุดิบ ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตขององค์กรที่ทำการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์

-การปล่อยก๊าซเรือนกระจกช่วงปลายน้ำ (Downstream emissions) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์เป้าหมายซึ่งอาจเกิดขึ้นหลังจากผลิตภัณฑ์ถูกจำหน่ายออกจากองค์กรที่ทำการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์

-ขอบเขตของระบบ (System boundary) ขอบเขตของกระบวนการที่อยู่ภายใต้ระบบของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการพิจารณา

-ข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product category rules: PCRs) กฎเกณฑ์หรือข้อกำหนดที่ถูกกำหนดขึ้นมาตามแนวทางในการพัฒนาฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3 (Type III environmental declarations) และมีความเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์ หรือ กลุ่มผลิตภัณฑ์

-ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดกิจกรรมการผลิตในโรงงานหรือองค์กร หรือกิจกรรมการผลิตที่อยู่ภายใต้การควบคุมหรือที่องค์กรมีอำนาจในการเข้าถึงข้อมูล

-ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) ข้อมูลที่ได้มาจากแหล่งข้อมูลอื่นนอกเหนือจากข้อมูลปฐมภูมิ

-ชีวมวล (Biomass) วัตถุดิบจากกระบวนการทางธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตแต่ไม่รวมถึงวัตถุดิบที่ถูกทับถมจนเป็นฟอสซิลหรือมีต้นกำเนิดจากฟอสซิล

-ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Carbon dioxide Equivalent, CO₂e) ค่าแสดงความสามารถในการทำให้โลกร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับรูปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งคำนวณได้จากมวลของก๊าซเรือนกระจกคูณด้วยค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

-ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ค่าศักยภาพของก๊าซเรือนกระจกในการทำให้โลกร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนและอายุของก๊าซนั้นๆ ในบรรยากาศโดยคิดเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

-ไบโอเจนิก (Biogenic) สารที่มาจากชีวมวล แต่ยังไม่เป็นฟอสซิลหรือมาจากฟอสซิล

-สินทรัพย์ (Capital goods) เครื่องจักร อุปกรณ์ และอาคารสิ่งปลูกที่ใช้ในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

-ผลิตภัณฑ์ร่วม (Co-product) ผลิตภัณฑ์อื่นที่มิใช่ผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเดียวกัน และมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์

-หน่วยการทำงาน (Functional Unit) หน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ซึ่งใช้ในการกำหนดขอบเขตการจัดเก็บข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์

-หน่วยผลิตภัณฑ์ (Product Unit) หน่วยของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจกำหนดแยกตามน้ำหนัก ปริมาตรหรือขนาดบรรจุ จำนวนย่อยพื้นที่ หรือตามรูปแบบที่วางจำหน่ายอื่นๆ

-สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญ (Material contribution) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีมากกว่าร้อยละ 1 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต

-การตัดออก (Cut off) การไม่นำปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากระบบมาใช้ในการคำนวณหรือประเมิน

3) ข้อมูลสนับสนุน (Supporting data)

ข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ประกอบด้วย ชื่อผลิตภัณฑ์ ขอบเขต กระบวนการผลิต วัตถุดิบ ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factor) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและข้อมูลอื่นๆ ทั้งนี้ข้อมูลทั้งหมดต้องได้รับการบันทึกไว้ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับใช้วิเคราะห์และทวนสอบได้อีกอย่างน้อย 2 ปีหรือตลอดอายุของผลิตภัณฑ์ที่แสดงฉลากนั้นอยู่ในตลาด

4) แหล่งข้อมูล ก๊าซเรือนกระจก และหน่วยวัด

-ชนิดของก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจกที่ประเมินประกอบด้วยก๊าซ 6 ชนิด ตามที่ควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโต ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน(CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ไฮโดรเจนฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆)

-ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือศักยภาพในการทำให้โลกร้อนประเมินได้จากการวัดหรือคำนวณ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นจริง และแปลงค่าให้อยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าโดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนในรอบ 100 ปี ของ IPCC (GWP100) ที่เป็นค่าล่าสุดเป็นเกณฑ์ ตัวอย่างเช่น ก๊าซมีเทนมีค่า GWP100 เท่ากับ 25 หมายความว่า ก๊าซมีเทน 1 กิโลกรัม มีศักยภาพในการทำให้โลกร้อนเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 กิโลกรัม ดังนั้นการปล่อยก๊าซมีเทน 1 กิโลกรัม คิดเป็นศักยภาพในการทำให้โลกร้อนเท่ากับ 25 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เป็นต้น

-ระยะเวลาที่ใช้ทำการประเมิน

ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ให้คำนวณเป็นค่าผลกระทบของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ปล่อยออกในช่วง 100 ปี หลักจากมีการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น

ในการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยมาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ยกเว้นกำจัดซาก (Final disposal) ให้ถือว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเพียงครั้งเดียวที่จุดเริ่มต้นของช่วงรายการด้านสิ่งแวดล้อม การประเมินผลกระทบ และการแปรผล โดยต้องวิเคราะห์ตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ คือการได้มาซึ่งวัตถุดิบกระบวนการผลิต การใช้งาน และการจัดการซากหลังจากการใช้งาน

5) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการประเมิน ต้องกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา คาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างชัดเจนและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการนำไปประยุกต์ใช้

-เป้าหมาย

กำหนดเป้าหมายการศึกษาให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการนำผลการศึกษาไปใช้ เช่น การศึกษาผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวเพื่อเปรียบเทียบการลดก๊าซเรือนกระจกในช่วงเวลาต่างๆ เป็นต้น การประเมิน ขนาดคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อใช้สื่อสารกับผู้บริโภค หรือเพื่อประโยชน์อื่นๆ ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ข้อมูล

-ขอบเขต

ต้องระบุประเด็นดังต่อไปนี้

- กำหนดระบบผลิตภัณฑ์ที่จะศึกษา
- หน่วยการทำงานขอบเขตของระบบ
- ข้อมูลและคุณภาพข้อมูล
- วิธีการปันส่วน
- สมมติฐานโดยเฉพาะในช่วงการใช้งาน
- การเลือกค่าต่างๆสำหรับนำมาใช้คำนวณ
- ข้อจำกัดของการศึกษา

ก. ระบบผลิตภัณฑ์ (Product system)

ต้องประกอบด้วยทุกขั้นตอนที่มีอยู่ในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่กระบวนการที่ได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ช่วงการใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ในกรณีที่ไม่สามารถศึกษาตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือเป็นการดำเนินงานในลักษณะ Cradle to gate ต้องมีการระบุขอบเขตไว้อย่างชัดเจนเพื่อประโยชน์ให้กับองค์กรหรือผู้ผลิตที่ต้องการนำข้อมูลไปใช้ต่อ

ข. หน่วยการทำงาน (Functional unit)

ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ต้องระบุหน้าที่ของระบบผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา โดยการกำหนดหน้าที่และหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 14040 และ ISO 14044 และต้องมีการระบุเอกสารอ้างอิงด้วย ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต้องอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยการทำงาน

เมื่อต้องการแสดงค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ก็สามารถคำนวณได้ แต่ต้องมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่คำนวณต่อหน่วยการทำงานกำกับไว้ทุกครั้ง และต้องแสดงเหตุผลการเลือกใช้หน่วยผลิตภัณฑ์ หรืออธิบายถึงความสัมพันธ์ของหน่วยผลิตภัณฑ์กับหน่วยการทำงานด้วย

ก. ขอบเขตของระบบ (System boundary)

ต้องแสดงขอบเขตการศึกษา ระบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการย่อย (unit Process) สารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้อง โดยต้องกำหนดว่ากระบวนการย่อยใดบ้างที่ต้องทำการประเมินอย่างละเอียดเนื่องจากมีผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ และกระบวนการย่อยใดที่อายุ 100 ปี สำหรับช่วงการกำจัดซาก ใช้หลักการว่ามีการทยอยปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาทุกปีตลอดช่วงเวลา 100 ปี โดยคูณกับค่าน้ำหนักของช่วงเวลาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 100 ปี ซึ่งเท่ากับ 0.76

-แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

พิจารณาก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่างๆ ดังนี้

- การผลิตวัตถุดิบที่ใช้ทุกประเภท
- การผลิตพลังงานที่ใช้ทุกประเภท
- กระบวนการเผาไหม้
- ปฏิกิริยาเคมี
- การสูญเสียน้ำยาทำความเย็นและการรั่วไหลของก๊าซ
- การปฏิบัติงาน
- การขนส่งทุกประเภทที่เกี่ยวข้อง
- การปศุสัตว์และกระบวนการผลิตทางการเกษตรอื่นๆ
- ของเสียและการจัดการของเสีย

-การปล่อยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ที่มีแหล่งกำเนิดจากฟอสซิลและไบโอจินิคคาร์บอน ต้องนำการปล่อยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดฟอสซิลมาคำนวณด้วย แต่ไม่ต้องคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากไบโอจินิคคาร์บอน

-การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ไม่ใช่คาร์บอน ไดออกไซด์ที่มีแหล่งกำเนิดจากฟอสซิลและไบโอจินิคคาร์บอนต้องนำการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ไม่ใช่เป็นก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ทั้งที่มาจากฟอสซิลและไบโอจินิคคาร์บอนมาคำนวณด้วย

-การเก็บกักคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ (Carbon storage in product)

คำนวณเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีอายุของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 10 ปี เท่านั้น โดยให้แยกการรายงาน ไม่รวมอยู่ในค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

-การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Land use change) ในปัจจุบัน ประเทศไทยยังไม่มีข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่สมบูรณ์เพียงพอที่จะนำมาคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงยังไม่กำหนดให้ต้องคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงการ

ใช้ประโยชน์ที่ดิน ในอนาคตหากประเทศไทยมีฐานข้อมูลที่มีความสมบูรณ์มากขึ้น ก็น่าประเด็นนี้มาคำนวณเพิ่มเติม

-การชดเชย (Offsetting)

ไม่นำการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งภาคทางการและภาคสมัครใจมาคำนวณเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์

6) กรอบแนวคิดการคำนวณ (Methodological Framework)

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ ควรดำเนินการ 4 ขั้นตอนตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ได้แก่ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม การประเมินผลกระทบ และการแปลผล โดยต้องวิเคราะห์ตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ คือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการจัดการซากหลังจากการใช้งาน

7) ข้อมูลและคุณภาพข้อมูล

7.1) ข้อกำหนดด้านคุณภาพข้อมูล

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ควรคำนึงถึงประเด็นดังต่อไปนี้

-เวลา (time relate coverage) คือ อายุของข้อมูล และระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณให้ใช้ค่าเฉลี่ยของทั้งปี

-ภูมิศาสตร์ (geographical coverage) คือ พื้นที่เชิงภูมิศาสตร์ของแหล่งข้อมูลที่ทำกรเก็บข้อมูลเพื่อตอบสนองจุดประสงค์ของการศึกษา

-เทคโนโลยี (technology coverage) คือ เทคโนโลยีที่ใช้ผลิตข้อมูลที่ศึกษา อาจเป็นเทคโนโลยีเฉพาะ หรือมีการใช้เทคโนโลยีหลายชนิด

-ความเที่ยง (precision) คือ ให้ความสำคัญกับความแปรปรวนทางสถิติของฐานข้อมูล ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของฐานข้อมูล

-ความครบถ้วน (completeness) คือ ความสมบูรณ์ของสารขาเข้าและขาออกของกระบวนการผลิตและแปลงตีค่าออกมาเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งจะสามารถได้มาจากการวัดจริงหรือจากการประมาณการ

-ความเป็นตัวแทนข้อมูล (representativeness) คือ พิจารณาจาก เวลา ภูมิศาสตร์ และเทคโนโลยี ว่าฐานข้อมูลแสดงถึงลักษณะที่แท้จริงของข้อมูลหรือไม่ ตัวอย่างเช่น (ข้อมูลการปลูกข้าวหอมมะลิที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สามารถเป็นตัวแทนของประเทศไทยเนื่องจากมีปริมาณ

การปลูกที่สูงและภาคอื่นมีกำลังการผลิตที่น้อยกว่ามาก หรือข้อมูลการปลูกปาล์มน้ำมันจากภาคได้ สามารถเป็นตัวแทนของประเทศไทยได้เนื่องจากมีการผลิตที่สูงมากเป็นต้น)

-ความสม่ำเสมอ (consistency) คือ เป็นการประเมินเชิงคุณภาพโดยพิจารณาจากการ ได้มาซึ่งฐานข้อมูลว่าสอดคล้องกัน เช่นฐานข้อมูลการข้อมฝาระหว่างสี่เข้มและสี่อ่อน ขอบเขตการทำงาน และข้อบังคับของการเก็บข้อมูลเหมือนกันหรือไม่

ความสามารถในการทำซ้ำ (reproducibility) คือ ในกรณีที่บุคคลอื่นมีความประสงค์ที่จะทำการวัดซ้ำด้วยวิธีการเดิม ค่าที่ได้ออกมาควรจะสอดคล้องกับข้อมูล

-แหล่งที่มาของข้อมูล (source of the data) คือ สามารถอธิบายที่มาและความน่าเชื่อถือของ ข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ

-ความไม่แน่นอนของข้อมูล (uncertainty of the information) คือ พิจารณาตัวแปรที่สามารถทำให้ฐานข้อมูลคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เช่น การปันส่วน (allocation) การตัดออก (cut-off rule) สมมุติฐาน (assumption)

7.2) การเลือกใช้ข้อมูลในการประเมิน

การจัดเก็บข้อมูลปฐมภูมิสำหรับนำมาใช้ประเมิน ให้รวบรวมข้อมูลโดยตรงจากทุก กระบวนการย่อยในระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในการควบคุมขององค์กร ตัวอย่างเช่น ปริมาณการใช้ พลังงานการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต การใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง เป็นต้น

ในกรณีของก๊าซเรือนกระจกที่มีแหล่งปล่อยจากระบบการผลิตช่วงต้นน้ำ (upstream) ไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตได้ จึงสามารถเลือกใช้ ข้อมูลทุติยภูมิที่เหมาะสม สำหรับกิจกรรมและกระบวนการย่อยที่ไม่ได้อยู่ในการควบคุมโดยตรง ขององค์กรให้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ โดยเรียงลำดับดังนี้

-ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของพัสดุพื้นฐานและพลังงานประเทศไทย

-ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศไทยซึ่งผ่านการกรอง แล้ว (peer-reviewed publications)

-ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป ได้แก่ LCA Software, ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่ม อุตสาหกรรม, ฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ

-ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น IPCC สหประชาชาติ

7.3) ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีน้ำมันและเชื้อเพลิง

ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของน้ำมันและเชื้อเพลิง (1) ปริมาณการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงาน และ (2) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ พลังงาน (การเผาไหม้ของน้ำมันและเชื้อเพลิง)

7.4) การผลิตไฟฟ้าและความร้อน ณ สถานที่นั้น (on site)

ในกรณีที่มีการผลิตและใช้กระแสไฟฟ้า และ/หรือ ความร้อน ณ สถานที่นั้น ให้มีการคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้า และ/หรือ ความร้อนด้วย รวมไปถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกช่วงต้นน้ำ (Upstream emission)

7.5) การผลิตไฟฟ้าและความร้อน นอกสถานที่ (off site)

ในกรณีของไฟฟ้า และ/หรือความร้อนนอกสถานที่ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่นำมาใช้คำนวณควรประกอบด้วย

-กรณีที่มีการผลิตไฟฟ้าและความร้อนที่ถูกส่งมาจากแหล่งเพียงแหล่งเดียว (ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบพลังงานที่ใหญ่กว่า) ให้ใช้ค่าการปล่อยก๊าซที่เกี่ยวข้องกับแหล่งนั้นๆ

-กรณีของไฟฟ้าและความร้อนที่ถูกส่งมาจากระบบพลังงานที่ใหญ่กว่า ให้ใช้ข้อมูลสถิติภูมิที่เจาะจงกับผลิตภัณฑ์นั้นมากที่สุด (เช่นค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศที่ใช้ไฟฟ้านั้น)

8) การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์

ในการคำนวณหาค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ ควรใช้วิธีการดังนี้

8.1) ข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการคูณเข้ากับ emission factor ของประเภทวัสดุ พลังงานหรือกระบวนการนั้น และบันทึกในรูปแบบของปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

8.2) แปลงค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยการนำไปคูณกับค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด

8.3) ผลกระทบของการเก็บกักก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ที่คำนวณ ต้องแสดงในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

8.4) ผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดต้องอยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วย โดย

-การประเมินแบบ Cradle-to-grave คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต (ร่วมช่วงการใช้งาน) โดยให้ระบุแยกการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงใช้งานด้วย ซึ่งควรระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์หรือสมมุติฐานที่กำหนดขึ้น รวมถึงการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์กับผู้บริโภคด้วยเช่น การจัดการของเสียหลังจากการใช้งานที่เหมาะสม เป็นต้น

-การประเมินแบบ Cradle-to-gate คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกบางช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ให้คำนวณการปล่อยก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิต ทั้งนี้ ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการประเมินแบบ

Cradle-to-gate นี้ไม่ควรเปิดเผยแก่ผู้บริโภคโดยตรง แต่เป็นข้อมูลที่ให้กับองค์กรหรือผู้ผลิตรายอื่นที่อยู่ภายใต้ห่วงโซ่อุปทานเดียวกัน ทั้งนี้ ต้องมีการระบุช่วงวัฏจักรชีวิตที่ทำการประเมินไว้อย่างชัดเจนเพื่อให้ผู้ผลิตรายอื่นสามารถนำข้อมูลไปใช้ได้ถูกต้อง

-การประเมินแบบอื่นๆ ให้แสดงผลได้ขอบเขต Cradle-to-gate และ Cradle-to-grave เท่านั้น ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ประเมินนอกเหนือขอบเขตดังกล่าว สามารถระบุเป็นข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับผู้ไ้

9) การแสดงผล

การแสดงผลปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์บนผลิตภัณฑ์ ควรแสดงด้วยตัวเลข 3 ตัว (Three significant number) เช่น 3.15 kg, 152 g ทั้งนี้ให้มีช่องว่างระหว่างตัวเลขและหน่วย 1 ตัวอักษร ในกรณีที่มีตัวเลขทศนิยมการขีดเศษตัวเลขดังกล่าวต้องเป็นไปตามมาตรฐานเลขที่ มอก. 929-2533 สำหรับการประเมินแบบ Cradle-to-gate ไม่ใช่แสดงผลปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์บนผลิตภัณฑ์โดยตรง แต่สามารถ แสดงไว้ในแหล่งอื่นๆ เช่น เว็บไซต์ หรือ เอกสารเผยแพร่ของบริษัท เป็นต้น



ภาคผนวก จ

บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ ๑.1 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการปรับอัตราการไหลและการตกตะกอนขั้นต้น

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
สารขาเข้า							
น้ำเสีย (จาก โรงเบ็ง)	ตรวจวัด	วัดอัตราการไหลด้วยมิเตอร์ ทุก 8 ชม. ต่อเนื่อง 12 เดือน	kg.COD	19,461,616	5.47	31%	0
ทรัพยากรและวัสดุช่วยผลิต							
ไฟฟ้า	ตรวจวัด	บิลค่าไฟฟ้า 12 รอบบิลและ สัดส่วนของการนำก๊าซ ชีวภาพไปใช้งานความร้อน: ผลิตไฟฟ้า	kWh.	571,667	1.61×10^{-1}	69%	0.6093
น้ำประปา	ตรวจวัด	วัดอัตราการไหลด้วยมิเตอร์ ทุก 8 ชม. ต่อเนื่อง 12 เดือน	m ³	748	2.10×10^{-4}	31%	0.7043
สารขาออก							
น้ำเสีย	ตรวจวัด	วัดอัตราการไหลด้วยมิเตอร์ ทุก 8 ชม. ต่อเนื่อง 12 เดือน	kg.COD	4,193,980	1.18	17%	0

ตารางที่ จ.1 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการปรับอัตราการไหลและการตกตะกอนขั้นต้น (ต่อ)

วัตถุประสงค์	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
ผลิตภัณฑ์							
น้ำเสีย(ผ่านการตกตะกอน)	ตรวจวัด	วัดอัตราการไหลด้วยมิเตอร์ทุก 8 ชม. ต่อเนื่อง 12 เดือน	kg.COD	16,118,880	4.53	83%	0

ตารางที่ จ.2 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการหมักกรด

วัตถุประสงค์	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
สารขาเข้า							
น้ำเสีย(ผ่านการตกตะกอน)	ตรวจวัด	วัดอัตราการไหลด้วยมิเตอร์ทุก 8 ชม. ต่อเนื่อง 12 เดือน	kg.COD	16,118,880	4.53	31%	0

ตารางที่ ๑.2 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการหมักกรด (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
ทรัพยากรและวัสดุช่วยผลิต							
ไฟฟ้า	ตรวจวัด	ไม่สามารถตรวจวัดเฉพาะจุดได้ แต่นำไปคำนวณรวมในค่าไฟฟ้ารวม 12 รอบบิล	kWh.	-	-	-	-
น้ำกลั่น	ตรวจวัด	บันทึกการใช้ น้ำกลั่นประจำวัน ต่อเนื่อง 3 เดือน	m ³	0.510	1.43×10^{-7}	31%	1.3664
กรดซัลฟูริก	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	290.07	8.16×10^{-5}	31%	0.1219
Phenolphthalien indicator	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	0.1257	3.54×10^{-8}	31%	2.23
กระดาษกรอง no.1	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	11.37	3.20×10^{-6}	31%	1.879

ตารางที่ ๓.2 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการหมักกรด (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
กระดาษกรอง GF/C.	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	0.625	1.76×10^{-7}	31%	1.879
โปตัสเซียมไดโครเมต	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	0.554	1.56×10^{-7}	31%	15.3
ซิลเวอร์ซัลเฟต	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	0.93	2.62×10^{-7}	31%	-
ปรอทซัลเฟต	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	1.45	4.08×10^{-7}	31%	115
เฟอร์รัส แอมโมเนียมซัลเฟต	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	3.64	1.02×10^{-6}	31%	0.5311

ตารางที่ ๓.2 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการหมักกรด (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
โปตัสเซียม ไฮโดรเจนซัลไฟด์	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบ เดือน	kg.	0.5	1.41×10^{-7}	31%	15.3
ซิลิกาเจล	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบ เดือน	kg.	2	5.63×10^{-7}	31%	1.31
เฟอร์รัสซัลเฟต	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบ เดือน	kg.	0.25	7.03×10^{-8}	31%	0.117
พอยด์	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบ เดือน	kg.	1,0215	2.87×10^{-7}	31%	-
ถุงมือ	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบ เดือน	kg.	7.49142	2.11×10^{-6}	31%	0.616

ตารางที่ ๓.2 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการหมักกรด (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปันส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
สารขาออก							
กระดาษกรอง	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบเดือน	kg.	11.995	3.37×10^{-6}	31%	2.93
ซิลิกาเจล	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบเดือน	kg.	2	5.63×10^{-7}	31%	2.32
ฟอยล์	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบเดือน	kg.	1.0215	2.87×10^{-7}	31%	-
ขวดสารเคมี	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบเดือน	kg.	63.9	1.80×10^{-7}	31%	0

ตารางที่ ๑.2 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการหมักกรด (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
ถุงมือ	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบเดือน	kg.	7.49712	2.11×10^{-6}	31%	3.13
ผลิตภัณฑ์							
น้ำเสีย (ผ่านการหมักกรด)	ตรวจวัด	วัดอัตราการไหลด้วยมิเตอร์ทุก 8 ชม. ต่อเนื่อง 12 เดือน	kg.COD	16,118,880	4.53	31%	0
สารขาเข้า							
ตรวจวัด	วัดอัตราการไหลด้วยมิเตอร์ทุก 8 ชม. ต่อเนื่อง 12 เดือน	kg.COD	16,118,880	4.53	31%	0	
ทรัพยากรและวัสดุช่วยผลิต							
ไฟฟ้า	ตรวจวัด	ไม่สามารถตรวจวัดเฉพาะจุดได้แต่นำไปคำนวณรวมในค่าไฟฟ้ารวม 12 รอบปี					

ตารางที่ ๓.3 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการหมักแบบไร้อากาศ

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปันส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
น้ำกลั่น	ตรวจวัด	บันทึกการใช้ น้ำกลั่น ประจำวัน ต่อเนื่อง 3 เดือน	m ³	0.510	1.43×10 ⁻⁷	31%	1.3664
กรดซัลฟูริก	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบ เดือน	kg.	290.07	8.16×10 ⁻⁵	31%	0.1219
Phenolphthalien indicator	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบ เดือน	kg.	0.1257	3.54×10 ⁻⁸	31%	2.23
โซเดียมไฮดรอกไซด์	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบ เดือน	kg.	0.546	1.54×10 ⁻⁷	31%	1.1148
Ethy alcohol absolute	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบ เดือน	kg.	1.63	4.59×10 ⁻⁷	31%	0.3962

ตารางที่ ๓.3 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการหมักแบบไร้อากาศ (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
Soda lime	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	0.5	1.41×10^{-7}	31%	0.782
Glass bed solid	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	0.5	1.41×10^{-7}	31%	1.187
กระดาษกรอง no.1	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	11.37	3.20×10^{-6}	31%	1.879
กระดาษกรอง GF/C.	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	0.625	1.76×10^{-7}	31%	1.879
โปดัสเซียมไดโครเมต	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบเดือน	kg.	0.554	1.56×10^{-7}	31%	15.3

ตารางที่ ๓.3 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการหมักแบบไร้อากาศ (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
ซิลเวอร์ซัลเฟต	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบ เดือน	kg.	0.93	2.62×10^{-7}	31%	-
ซิลิกาเจล	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบ เดือน	kg.	2	5.63×10^{-7}	31%	1.31
1,10 ฟีนานโทลีโมโน ไฮเดรท	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบ เดือน	kg.	0.08	2.25×10^{-8}	31%	2.23
เฟอร์รัสซัลเฟต	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบ เดือน	kg.	0.25	7.03×10^{-8}	31%	0.117
พอยด์	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบ เดือน	kg.	1.0215	2.87×10^{-7}	31%	-

ตารางที่ ๓.3 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการหมักแบบไร้อากาศ (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
Methyl orange indicator	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบ เดือน	kg.	0.25	7.03×10^{-8}	31%	-
ถุงมือ	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบ เดือน	kg.	7.49142	2.11×10^{-6}	31%	0.616
สารขาออก							
กระดาษกรอง	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบ เดือน	kg.	11.995	3.37×10^{-6}	31%	2.93
Glass bed solid	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบ เดือน	kg.	0.5	1.41×10^{-7}	31%	1.187

ตารางที่ ๓.3 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการหมักแบบไร้อากาศ (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปันส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
ซิลิกาเจล	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบ เดือน	kg.	2	5.63×10^{-7}	31%	2.32
ฟอยด์	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบ เดือน	kg.	1.0215	2.87×10^{-7}	31%	-
ขวดสารเคมี	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบ เดือน	kg.	63.9	1.80×10^{-7}	31%	0
ถุงมือ	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบ เดือน	kg.	7.49712	2.11×10^{-6}	3.13	3.13
ผลิตภัณฑ์							
ก๊าซชีวภาพ	ตรวจวัด	วัดอัตราการไหลด้วยมิเตอร์ ทุก 8 ชม. ต่อเนื่อง 12 เดือน	m ³	9,961,596	2.80	-	-

ตารางที่ ๓.4 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
สารขาเข้า							
ก๊าซชีวภาพ(เผาใหม่)	ตรวจวัด	วัดอัตราการไหลด้วยมิเตอร์ ทุก 8 ชม. ต่อเนื่อง 12 เดือน	m ³	3,078,205	8.66×10^{-1}	100%	0.0011
ทรัพยากรและวัสดุช่วยผลิต							
ไฟฟ้า	ตรวจวัด	บิลค่าไฟฟ้า 12 รอบบิลและ สัดส่วนของการนำก๊าซ ชีวภาพไปใช้งานความร้อน: ผลิตไฟฟ้า	kWh.	246,539	6.94×10^{-2}	31%	0.6093
น้ำหล่อเย็น	ตรวจวัด	วัดอัตราการไหลด้วยมิเตอร์ ทุก 8 ชม. ต่อเนื่อง 12 เดือน	m ³	11,404	3.21×10^{-3}	100%	3.0985
ไส้กรองอากาศ	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและ บันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบ เดือน	kg.	12.32	3.47×10^{-6}	100%	1.41

ตารางที่ ๓.4 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปันส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ eq)
ไส้กรองน้ำมัน	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบเดือน	kg.	46.4	1.31×10^{-5}	100%	2.13
จารบี	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบเดือน	kg.	25	7.03×10^{-6}	100%	1.0547
สายพาน	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบเดือน	kg.	1.58	4.44×10^{-7}	100%	3.5158
ข้ออ่อน Flex (เล็ก)	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบเดือน	kg.	2.72	7.65×10^{-7}	100%	1.6382
ข้ออ่อน Flex (ใหญ่)	ตรวจวัด	ชั่งตวงโดยเครื่องชั่งและบันทึกการสั่งซื้อ 12 รอบเดือน	kg.	2.92	8.21×10^{-7}	100%	1.6382

ตารางที่ ๓.4 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
โอริงค์	ตรวจวัด	ซังตวง โดยเครื่องซังและ บันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบ เดือน	kg.	0.72496	2.04×10^{-7}	100%	3.5138
น้ำมันเครื่อง	ตรวจวัด	ซังตวง โดยเครื่องซังและ บันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบ เดือน	kg.	4,116	1.16×10^{-3}	100%	0.8319
ประเก็น	ตรวจวัด	ซังตวง โดยเครื่องซังและ บันทึกการตั้งชื่อ 12 รอบ เดือน	kg.	13	3.71×10^{-6}	100%	1.6382
Media	คำนวณ		kg.			100%	
สารขาออก							
ไอน้ำระเหย	ตรวจวัด	วัดจากปริมาณน้ำที่เติมเข้าไป เพิ่มใน Cooling tower	m ³	11,404	3.21×10^{-3}	100%	3.0985

ตารางที่ ๓.4 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
ไส้กรองอากาศ	ตรวจวัด	ชั่งตวง โดยเครื่องชั่งและ บันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบ เดือน	kg.	12.32	3.47×10^{-6}	100%	1.41
ไส้กรองน้ำมัน	ตรวจวัด	ชั่งตวง โดยเครื่องชั่งและ บันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบ เดือน	kg.	46.4	1.31×10^{-5}	100%	2.13
จารบี	ตรวจวัด	ชั่งตวง โดยเครื่องชั่งและ บันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบ เดือน	kg.	25	7.03×10^{-6}	100%	1.0547
หัวเทียน	ตรวจวัด	ชั่งตวง โดยเครื่องชั่งและ บันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบ เดือน	kg.	43.2	1.22×10^{-5}	100%	3.67
สายพาน	ตรวจวัด	ชั่งตวง โดยเครื่องชั่งและ บันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบ เดือน	kg.	1.58	4.44×10^{-7}	100%	3.5138

ตารางที่ ๓.4 บัญชีรายการเก็บข้อมูลของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

วัตถุดิบ	วิธีการจัดเก็บข้อมูล	รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูล	หน่วย	ปริมาณต่อปี	ปริมาณต่อหน่วย (Functional Unit)	ปีส่วน	ค่าEF (kgCO ₂ -eq)
ซื้ออ่อน Flex (เล็ก)	ตรวจวัด	ชั่งตวง โดยเครื่องชั่งและ บันทึกการกำจัดขยะ 12 รอบ เดือน	kg.	2.72	7.65×10^{-7}	100%	1.6382
Media	คำนวณ		kg.			100%	
ผลิตภัณฑ์							
ไฟฟ้า	ตรวจวัด	ข้อมูลการส่งจ่ายไฟฟ้ากับ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 12 เดือน	kWh.	3,556,121	-	-	-



ภาคผนวก ข

วิธีการคำนวณการปันส่วน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิธีการคำนวณการปันส่วน

ช.1 วิธีการคำนวณการปันส่วนก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบยูเอเอสบี (ถังหมักแบบไร้อากาศ) ทั้งหมด จะถูกแบ่งการใช้งานเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะถูกนำไปใช้ในด้านความร้อนเพื่อเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการอบแห้ง และส่วนที่สองจะถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โดยในการศึกษาวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับการนำก๊าซชีวภาพไปผลิตไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ ช.1

ตารางที่ ช.1 แสดงปริมาณการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานในด้านความร้อนและการผลิตไฟฟ้า ปี 2557

เดือน	อบแห้ง (m ³)	ผลิตไฟฟ้า (m ³)	ผลรวม
มกราคม	750,021	7,631	757,652
กุมภาพันธ์	1,003,481	248,985	1,252,466
มีนาคม	898,429	283,599	1,182,028
เมษายน	318,303	237,315	555,618
พฤษภาคม	214,057	70,816	284,873
มิถุนายน	463,834	132,084	595,918
กรกฎาคม	306,653	289,478	596,131
สิงหาคม	581,124	394,345	975,469
กันยายน	805,898	452,370	1,258,268
ตุลาคม	468,118	253,559	721,677
พฤศจิกายน	461,874	397,599	859,473
ธันวาคม	611,601	310,417	922,018
รวม	6,883,393	3,078,198	9,961,591
% ปันส่วน	69%	31%	100%

สัดส่วนการใช้ก๊าซชีวภาพแยกตามชนิดการใช้งานสามารถคำนวณได้ดังนี้

- นำไปใช้ด้านความร้อน (อบแห้ง) ใช้ก๊าซชีวภาพในสัดส่วน

$$= [6,883,393 / (6,883,393 + 3,078,198)] \times 100 \%$$

$$= 69 \%$$
- นำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าในสัดส่วน

$$= [3,078,198 / (6,883,393 + 3,078,198)] \times 100 \%$$

$$= 31 \%$$

ช.2 วิธีการคำนวณการปันส่วนปริมาณน้ำเสีย

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะทำการคำนวณการปันส่วนในกระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้นเนื่องจากในระหว่างกระบวนการนี้ จะแบ่งน้ำเสียออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือน้ำเสียผ่านการตกตะกอน (วัตถุคืบ) เพื่อเข้าสู่กระบวนการหมักกรดต่อไป ส่วนที่สองคือน้ำเสียที่ทิ้งออกจากกระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น ดังแสดงในตารางที่ ช.2

ตารางที่ ช.2 แสดงปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในปี 2557

เดือน	น้ำเสียผ่านการตกตะกอน (m ³)	น้ำเสียทิ้ง (m ³)	ผลรวม (m ³)
รวม	1,007,430	208,922	1,216,351
%ปันส่วน	83%	17%	100%

สัดส่วนปริมาณน้ำเสียคำนวณได้ดังนี้

- น้ำเสียผ่านการตกตะกอนในสัดส่วน

$$= [1,007,430 / (1,007,430 + 208,922)] \times 100 \%$$

$$= 83 \%$$

- น้ำเสียทิ้งออกจากกระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้นในสัดส่วน

$$= [208,922 / (1,007,430 + 208,922)] \times 100 \%$$

$$= 17 \%$$

ช.3 วิธีการคำนวณการปันส่วนปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจะคำนวณตามชนิดการใช้งานก๊าซชีวภาพซึ่งปริมาณการใช้ไฟฟ้าจะแสดงดังตารางที่ ช.3

ตารางที่ ข.3 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปี 2557

เดือน	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh.)
มกราคม	57,112
กุมภาพันธ์	79,984
มีนาคม	87,815
เมษายน	55,540
พฤษภาคม	44,699
มิถุนายน	53,253
กรกฎาคม	56,434
สิงหาคม	77,914
กันยายน	90,106
ตุลาคม	75,217
พฤศจิกายน	77,258
ธันวาคม	72,015
รวม	827,311

สัดส่วนการใช้ปริมาณไฟฟ้าคำนวณได้ดังนี้

- ดังนั้นปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการอบแห้ง

$$= 827,311 \times 69 \%$$

$$= 570,870 \text{ kWh.}$$

- ดังนั้นปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการผลิตไฟฟ้า

$$= 827,311 \times 31 \%$$

$$= 256,478 \text{ kWh.}$$



ภาคผนวก ซ

วิธีการคำนวณการคาร์บอนฟุตพริ้นท์

วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ซ.1 วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์กระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น

รายการ	ค่า LCI		ค่า EF (kgCO2 eq./หน่วย)	ที่มา								ปีนส่วน	ผลคูณ	สัดส่วน (%)	Cut-off*	
	หน่วย	ปริมาณ/ปี		ปริมาณ/ FU	1st				2nd							
					Self collect	Supplier	PCR Con.	THLCIDB	Guideline TCF	Thai Res.	Int. DB					Others
กระบวนการปรับอัตราการไหลและการตกตะกอนขั้นต้น																
Input																
วัตถุดิบ																
น้ำเสีย	kg cod	19,461,616	5.47E+00	0.00					✓				100	0.00E+00	0	
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต																
ไฟฟ้า	kWh	571,667	1.61E-01	0.6093					✓				69	6.76E-02	12.42923	
น้ำประปา	m3	748	2.10E-04	0.7043					✓				31	4.59E-05	0.008446	
Output																
ของเสีย																
น้ำเสีย	kg cod	4,193,980	1.18E+00	0.00					✓				17	0.00E+00	0	
ผลิตภัณฑ์																
น้ำเสียผ่านการตกตะกอน	kg cod	16,118,880	4.53E+00										83	0.00E+00	0	

รูปที่ ซ.1 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์กระบวนการปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น



ซ.2 วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์กระบวนการหมักกรด

รายการ	ค่า LCI			ค่า EF (kgCO2 eq./หน่วย)	ที่มา								ปีนส่วน	ผลรวม	สัดส่วน (%)	Cut-off
	หน่วย	ปริมาณปี	ปริมาณ/ FU		1st				2nd							
					Self collect	Supplier	PCR Con.	THLCIDE	Guideline TCK	That Res.	Int. DB	Others				
กระบวนการหมักกรด																
Input																
วัตถุดิบ																
น้ำเสียผ่านการตกตะกอน	kg cod	16,118,880	4.53E+00	0									31	0.00E+00	0	
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต																
ไฟฟ้า	kWh		0.00E+00											0.00E+00	0	
น้ำกลั่น	m3	0.510	1.43E-07	1.3664					✓				31	6.08E-08	1.12E-05	
กรดซัลฟูริก	กิโลกรัม	290.07	8.16E-05	0.1219					✓				31	3.08E-06	0.000567	
phenolphthalein Indicator	กิโลกรัม	0.1257	3.54E-08	2.23							✓		31	2.44E-08	4.49E-06	
โซเดียมไฮดรอกไซด์	กิโลกรัม	0.546	1.54E-07	1.1148					✓				31	5.31E-08	9.76E-06	
Ethyl alcohol absolute	กิโลกรัม	1.63	4.59E-07	0.3962							✓		31	5.63E-08	1.04E-05	
soda lime	กิโลกรัม	0.5	1.41E-07	0.782					✓				31	3.41E-08	6.27E-06	
glass beads solid	กิโลกรัม	0.5	1.41E-07	1.187					✓				31	5.18E-08	9.51E-06	
กระดาษกรอง no. 1	กิโลกรัม	11.37	3.20E-06	1.879							✓		31	1.86E-06	0.000343	
กระดาษกรอง GFC	กิโลกรัม	0.625	1.76E-07	1.879							✓		31	1.02E-07	1.88E-05	
โปสเตอร์เชื่อมโคโรแมต	กิโลกรัม	0.554	1.56E-07	15.3							✓		31	7.39E-07	0.000136	
ซิลเวอร์ซัลเฟต	กิโลกรัม	0.93	2.62E-07											0.00E+00	0	✓
ปรอทซัลเฟต	กิโลกรัม	1.45	4.08E-07	115							✓		31	1.45E-05	0.002673	
เพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต	กิโลกรัม	3.64	1.02E-06	0.5311					✓				31	1.69E-07	3.1E-05	
โปสเตอร์เชื่อมไฮโครเจนพลาต	กิโลกรัม	0.5	1.41E-07	15.3							✓		31	6.67E-07	0.000123	
ซิลิกาเจล	กิโลกรัม	2	5.63E-07	1.31							✓		31	2.28E-07	4.2E-05	
1,10-พีนโทลิโมโนไฮเครท	กิโลกรัม	0.08	2.25E-08	2.23							✓		31	1.56E-08	2.86E-06	
เพอร์รัสซัลเฟต	กิโลกรัม	0.25	7.03E-08	0.117							✓		31	2.55E-09	4.69E-07	
ฟอยล์	กิโลกรัม	1.0215	2.87E-07											0.00E+00	0	✓
ถุงมือยาง	กิโลกรัม	7.49712	2.11E-06	0.616				✓					31	4.03E-07	7.4E-05	
Output																
ของเสีย																
กระดาษกรอง	กิโลกรัม	11.995	3.37E-06	2.93					✓				31	3.06E-06	5.63E-04	
glass beads solid	กิโลกรัม	0.5	1.41E-07	1.187					✓				31	5.18E-08	9.51E-06	
ซิลิกาเจล	กิโลกรัม	2	5.63E-07	2.32					✓				31	4.05E-07	7.44E-05	
ฟอยล์	กิโลกรัม	1.0215	2.87E-07	2.32					✓				31	2.07E-07	3.80E-05	
ขวดสารเคมีไร้แล้ว	กิโลกรัม	63.9	1.80E-05	0					✓				31	0.00E+00	0.00E+00	
ถุงมือไร้แล้ว	กิโลกรัม	7.49712	2.11E-06	3.13					✓				31	2.05E-06	3.76E-04	
ผลิตภัณฑ์																
น้ำเสียผ่านการหมักกรด	kg cod	16,118,880	4.53E+00	0										0.00E+00	0	

รูปที่ ซ.2 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์กระบวนการหมักกรด

ซ.3 วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

รายการ	ค่า LCI			ค่า EF (kgCO ₂ eq./หน่วย)	ที่มา								Substitute	ปันส่วน	ผลคูณ	สัดส่วน (%)	Cut-off*
	หน่วย	ปริมาณ/ปี	ปริมาณ/ FU		1st				2nd								
					Self collect	Supplier	PCR Con.	THLCIDB	Guideline TCC	Thai Res.	Int. DB	Others					
กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ																	
Input																	
วัตถุดิบ																	
น้ำเลี้ยงผ่านกรรมจักรด	kg cod	16,118,880	4.53E+00	0											0.00E+00	0	
ทรัพยากร และ วัสดุช่วยการผลิต																	
ไฟฟ้า	kWh		0.00E+00												0.00E+00	0	
น้ำกลั่น	m3	0.510	1.43E-07	1.3664					✓					31	6.08E-08	1.12E-05	
กรดซัลฟูริก	กิโลกรัม	290.07	8.16E-05	0.1219					✓					31	3.08E-06	0.000567	
phenolphthalein Indicator	กิโลกรัม	0.1257	3.54E-08	2.23								✓		31	2.44E-08	4.49E-06	
โซเดียมไฮดรอกไซด์	กิโลกรัม	0.546	1.54E-07	1.1148					✓					31	5.31E-08	9.76E-06	
Ethyl alcohol absolute	กิโลกรัม	1.63	4.59E-07	0.3962								✓		31	5.63E-08	1.04E-05	
glass beads solid	กิโลกรัม	0.5	1.41E-07	1.187					✓					31	5.18E-08	9.51E-06	
กระดาษกรอง no. 1	กิโลกรัม	11.37	3.20E-06	1.879								✓		31	1.86E-06	0.000343	
กระดาษกรอง GFC	กิโลกรัม	0.625	1.76E-07	1.879								✓		31	1.02E-07	1.88E-05	
โปสเตอร์เชื่อมโคโครเมต	กิโลกรัม	0.554	1.56E-07	15.3								✓		31	7.39E-07	0.000136	
ซิลเวอร์ซัลเฟต	กิโลกรัม	0.93	2.62E-07												0.00E+00	0	✓
ปรอทซัลเฟต	กิโลกรัม	1.45	4.08E-07	115								✓		31	1.45E-05	0.002673	
เฟอร์ริตแอมโมเนียมซัลเฟต	กิโลกรัม	3.64	1.02E-06	0.5311					✓					31	1.69E-07	3.1E-05	
โปสเตอร์เชื่อมไฮโดรเจนพราแลค	กิโลกรัม	0.5	1.41E-07	15.3								✓		31	6.67E-07	0.000123	
ซิลิกาเจล	กิโลกรัม	2	5.63E-07	1.31								✓		31	2.28E-07	4.2E-05	
1,10-พีนานโทลิโมโนไฮดรท	กิโลกรัม	0.08	2.25E-08	2.23								✓		31	1.56E-08	2.86E-06	
เฟอร์ริตซัลเฟต	กิโลกรัม	0.25	7.03E-08	0.117								✓		31	2.55E-09	4.69E-07	
ฟอยล์	กิโลกรัม	1.0215	2.87E-07												0.00E+00	0	✓
Methyl orange indicator	กิโลกรัม	0.25	7.03E-08												0.00E+00	0	✓
ถุงมือยาง	กิโลกรัม	7.49712	2.11E-06	0.616					✓					31	4.03E-07	7.4E-05	
กระดาษกรอง	กิโลกรัม	11.995	3.37E-06	2.93					✓					31	3.06E-06	0.000563	
glass beads solid	กิโลกรัม	0.5	1.41E-07	1.187					✓					31	5.18E-08	9.51E-06	
ซิลิกาเจล	กิโลกรัม	2	5.63E-07	2.32					✓					31	4.05E-07	7.44E-05	
ฟอยล์	กิโลกรัม	1.0215	2.87E-07	2.32					✓					31	2.07E-07	3.8E-05	
ขวดสารเคมีใช้แล้ว	กิโลกรัม	63.95	1.80E-05	0					✓					31	0.00E+00	0	
ถุงมือใช้แล้ว	กิโลกรัม	7.49712	2.11E-06	3.13					✓					31	2.05E-06	0.000376	
ผลิตภัณฑ์																	
ก๊าซชีวภาพ	m3	9,961,596	2.80E+00												0.00E+00	0	

รูปที่ ซ.3 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

ซ.4 วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์กระบวนการผลิตไฟฟ้า

รายการ	ค่า LCI			ค่า EF (kgCO ₂ eq./หน่วย)	ที่มา								ปีส่วน	ผลคูณ	สัดส่วน (%)	Calc-IP ²
	หน่วย	ปริมาณ/ปี	ปริมาณ/ FU		1st		2nd				Others	Substitute				
					Self collect	Supplier	PCR Gen.	TH.LCI DB	Guideline TCR	Thai Res.						
กระบวนการผลิตไฟฟ้า																
วัตถุดิบ																
ก๊าซชีวภาพ(การเผาไหม้)	m3	3,078,205	8.66E-01	0.0011		✓								100	9.52E-04	0.17511
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต																
ไฟฟ้า	kWh	246,539	6.94E-02	0.6093					✓					31	1.31E-02	2.408237
น้ำหล่อเย็น	m3	11,404	3.21E-03	3.0985					✓					100	9.94E-03	1.827383
ไส้กรองอากาศ	กิโลกรัม	12.32	3.47E-06	1.41						✓				100	4.89E-06	0.000898
ไส้กรองน้ำมัน	กิโลกรัม	46.4	1.31E-05	2.13							✓			100	2.78E-05	0.005111
จารบี	กิโลกรัม	25	7.03E-06	1.0547					✓					100	7.42E-06	0.001364
หัวเทียน	กิโลกรัม	43.2	1.22E-05	3.67						✓				100	4.46E-05	0.008199
สายพาน	กิโลกรัม	1.58	4.44E-07	3.5138					✓					100	1.56E-06	0.000287
ซื้ออื่น Flex (ใหญ่)	กิโลกรัม	2.92	8.21E-07	1.6382					✓					100	1.35E-06	0.000247
โอริงส์	กิโลกรัม	0.72496	2.04E-07	3.5138					✓					100	7.17E-07	0.000132
น้ำมันเครื่อง	กิโลกรัม	4,116	1.16E-03	0.8319					✓					100	9.63E-04	0.177079
ประเก็น	กิโลกรัม	13	3.71E-06	1.6382					✓					100	6.08E-06	0.001118
มิเตอร์	กิโลกรัม	544	1.53E-04	5.4842					✓					100	8.39E-04	0.154288
Output																
ของเสีย																
ไอน้ำระเหย	m3	11,404	3.21E-03	3.0985					✓					100	9.94E-03	1.827383
ไส้กรองอากาศ	กิโลกรัม	12.32	3.47E-06	1.41						✓				100	4.89E-06	0.000898
ไส้กรองน้ำมัน	กิโลกรัม	46.4	1.31E-05	2.13							✓			100	2.78E-05	0.005111
จารบี	กิโลกรัม	25	7.03E-06	1.0547					✓					100	7.42E-06	0.001364
หัวเทียน	กิโลกรัม	43.2	1.22E-05	3.67						✓				100	4.46E-05	0.008199
สายพาน	กิโลกรัม	1.58	4.44E-07	3.13					✓					100	1.39E-06	0.000256
ซื้ออื่น Flex (เล็ก)	กิโลกรัม	2.72	7.65E-07	1.6382					✓					100	1.25E-06	0.00023
ถังภาชนะบรรจุน้ำมันเครื่อง	กิโลกรัม	378	1.06E-04	1.6382					✓					100	1.74E-04	0.032024
เศษประเก็น	กิโลกรัม	13.2	3.71E-06	1.6382					✓					100	6.08E-06	0.001118
มิเตอร์	กิโลกรัม	54	1.52E-05	0					✓					100	0.00E+00	0
ผลิตภัณฑ์																
ไฟฟ้า	kWh	3556121	1.00E+00												0.00	0

รูปที่ ซ.4 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์การผลิตไฟฟ้า

ประวัติผู้เขียน

นายสุรเชษฐ์ กล้าณรงค์ เกิดเมื่อวันที่ 18 มกราคม 2533 ที่จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษา ระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนวิเชียรชม จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมต้นจากโรงเรียนนวมินทราชูทิศ ทักษิณ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมปลายจากโรงเรียนนวมินทราชูทิศ ทักษิณ จังหวัดสงขลา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) จากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม เมื่อปี พ.ศ. 2555 และในปี พ.ศ. 2555 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี