การประเมินและการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระหว่าง โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กับ โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าชีวมวลจากแกลบ

ชานนท์ จันทร์วงศ์

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
17 พฤษภาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง “การประเมินและการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระหว่างโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กับโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าชีวมวลจากแกลบ”
ของนายชานนท์ จันทร์วงศ์
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาจรีย์ ทองสนิท)

.....ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล)

.....กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ดร.สุธาทิพย์ สินยัง)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล มุณีสว่าง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
17 มี.ค. 2561

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ รองศาสตาจารย์ ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิชยา นุกูล ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้อุตส่าห์สละเวลาให้คำปรึกษา พร้อมแนะนำหนังสือ เอกสารและโปรแกรมที่เป็นประโยชน์ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย ดร.จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ รวมถึงให้ความช่วยเหลือทุกด้านทำให้การจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงบรรดาญาติทุกคนของผู้วิจัย ที่ให้กำลังใจ ห่วงใยและให้การสนับสนุน ทั้งในด้านทุนทรัพย์ อุปกรณ์การศึกษา และเป็นแรงบันดาลใจอย่างดีที่สุดเสมอมา

ชานนท์ จันทร์วงศ์

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	1
	ความเป็นมาของปัญหา	1
	จุดมุ่งหมายของการศึกษา	2
	นิยามศัพท์เฉพาะ	2
	สมมติฐานการวิจัย	4
2	**เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	5
	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint)	5
	มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ International Standard Organization (ISO)	8
	วิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์	12
	โซล่าฟาร์ม (Solar Farm)	24
	การผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวมวล (Biomass Gas)	34
3	**วิธีดำเนินงานวิจัย**	46
	ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050	46
	ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050	48
	การเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการประเมินที่ได้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050	50

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	ผลการวิจัย	52
	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050	52
	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050	70
	เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการประเมินที่ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และข้อโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าชีวมวล	86
5	บทสรุป	87
	วัตถุดิบ	88
	การขนส่ง	89
	กระบวนการในการผลิตกระแสไฟฟ้าและของเสียที่เกิดขึ้น	91
	ข้อเสนอแนะ	99
บรรณานุกรม		100
ประวัติผู้วิจัย		103

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1 ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential:GWP) และแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ ก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด..... 7

2 ความสามารถการผลิต และปริมาณกระแสไฟฟ้าได้ตลอดอายุการใช้งานของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Solar Farm ขนาด 1 MW..... 58

3 เซลล์แสงอาทิตย์ ผลิตภัณฑ์ Suntech แบบ Polycrystalline,Monocrystalline และ Inverter กำลังการผลิต 1 MW..... 61

4 คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเซลล์แสงอาทิตย์..... 63

5 คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Inverter..... 65

6 คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Transformer..... 67

7 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้าง Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1 MW..... 69

8 ความสามารถการผลิต และปริมาณกระแสไฟฟ้าได้ตลอดอายุการใช้งานของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasification ขนาด 1 MW..... 71

9 คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Downdraft Gasifier model UFBGPP 1000..... 76

10 คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของTransformer..... 78

11 1ปริมาณของก๊าซต่างๆ ในกระบวนการ Gasification ที่ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์..... 82

12 ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ Gasifier..... 84

13 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1 MW..... 84

14 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1 MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1 MW..... 86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

15 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1MW ประเภทวัตถุดิบ..... 88

16 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1MW ประเภท การขนส่ง..... 89

17 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1MW ประเภทกระบวนการในการผลิตกระแสไฟฟ้า..... 91

18 การเปรียบเทียบราคาการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1 MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1MW..... 92

19 การคำนวณรายรับจากการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1MW เมื่อ 1 ปี มีกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า 4,380,000 หน่วย..... 93

20 การเปรียบเทียบรายรับจากการคำนวณของโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1MW..... 95

21 การคำนวณค่า อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate Oof Return หรือ IRR) ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Polycrystalline และแบบ Monocrystalline ขนาดกำลังการผลิต 1MW..... 96

22 การคำนวณค่า อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate Oof Return หรือ IRR) ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasifier จากแกลบและชานอ้อย ขนาดกำลังการผลิต 1MW..... 97

สารบัญภาพ

ภาพ หน้า

1 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตลอดวัฏจักรชีวิตของสินค้าหรือบริการ..... 5
2 ความเป็นมาของมาตรฐานสากลสำหรับการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์..... 11
3 แผนที่การผลิตอย่างง่ายของผลิตภัณฑ์..... 14
4 หลักการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ที่มี 1 กิจกรรม..... 19
5 หลักการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ที่มีหลายกิจกรรม..... 20
6 ตัวอย่างการกำหนดแนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก..... 23
7 แผนผังกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโซล่าฟาร์ม (Flowchart of processing). 24
8 เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน..... 25
9 แบบผลึกของเซลล์แสงอาทิตย์..... 26
10 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์..... 28
11 Circuit Breaker..... 30
12 อุปกรณ์ป้องกันรีเลย์..... 31
13 Transformer..... 32
14 ระบบสายส่ง..... 33
15 กระบวนการผลิตการเผาไหม้เชื้อเพลิง..... 38
16 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ Ganz รุ่นแรกใน Zwevegem, West Flanders, Belgium... 41
17 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ..... 42
18 การผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการ Gasification จากแกลบ..... 44
19 ที่ตั้งโรงงานผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ผลิตภัณฑ์ Suntech..... 52
20 คุณสมบัติเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น STP305/Vem ผลิตภัณฑ์ Suntech..... 53
21 คุณสมบัติเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น STP295/Wew ผลิตภัณฑ์ Suntech..... 54
22 คุณสมบัติเฉพาะ Inverter..... 55
23 คุณสมบัติเฉพาะ Transformer..... 56
24 ปริมาณพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ประเทศไทย พ.ศ. 2542..... 57
25 กระบวนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์..... 59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

26 กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์..... 60
27 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่งเซลล์แสงอาทิตย์..... 64
28 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับเซลล์แสงอาทิตย์..... 64
29 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดการขนส่งของเซลล์แสงอาทิตย์..... 65
30 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง Inverter..... 66
31 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับ Inverter..... 66
32 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์การขนส่งของ Inverter..... 67
33 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง Transformer..... 68
34 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับ Transformer..... 68
35 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขนส่ง Transformer..... 69
36 แผนผังกระบวนการผลิตของ Gasifier..... 73
37 คุณลักษณะเฉพาะตัวของ Downdraft Gasifier ผลิตภัณฑ์ powermaxmodel UFBGPP 1000..... 75
38 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง Downdraft Gasifier..... 76
39 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับ Downdraft Gasifier..... 77
40 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขนส่ง Downdraft Gasifier..... 77
41 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง Transformer..... 78
42 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับ Transformer..... 79
43 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขนส่ง Transformer..... 79
44 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง แกลบ..... 80
45 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับ แกลบ..... 80
46 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขนส่ง แกลบ..... 81
47 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง ขานอ้อย..... 81
48 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับ ขานอ้อย..... 82
49 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง ขานอ้อย..... 82

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

50 การคำนวณราคาแบบ Feed in Tariff..... 93

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

ก๊าซเรือนกระจกคือก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟาเรดได้ดีมีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนและถูกจัดอยู่ในกลุ่มก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีทั้งก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์โดยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญและระบุในพิธีสารเกียวโตมีเพียง 6 ชนิดซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic greenhouse gas emission) ได้แก่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N2O) ก๊าซในกลุ่มไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF6) (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553)

ผลกระทบของก๊าซเรือนกระจกกำลังทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ เช่น ใน ค.ศ.2003 ชาวยุโรป 35,000 คนเสียชีวิตเพราะคลื่นความร้อนต่อมาค.ศ.2005 พายุเฮอร์ริเคนแคทรินาถล่มเมืองนิวออร์ลีนส์สหรัฐอเมริกาพังพินาศและค.ศ.2008 ประเทศพม่าถูกพายุไซโคลนนาร์กีสเป็นต้นภัยพิบัติจากธรรมชาติที่แสดงถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมและภูมิอากาศโลกที่มีสาเหตุหลักสำคัญซึ่งคาดการณ์ว่าเกิดจากอุณหภูมิความร้อนของโลกที่สูงขึ้นเนื่องจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆสู่ชั้นบรรยากาศ จากโรงงานอุตสาหกรรมการตัดไม้ทำลายป่าการเผาไร่นาเพื่อเตรียมพื้นที่การเพาะปลูกในฤดูกาลหน้ารวมถึงกิจกรรมต่างๆในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ในแต่ละวันไม่ว่าจะเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการคมนาคมขนส่งและการใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านฯลฯดังนั้นการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงเป็นหน้าที่ของผู้เกี่ยวข้องทุกภาคส่วนทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรมในฐานะผู้ผลิตภาคบริการในฐานะผู้ขับเคลื่อนกิจกรรมรวมถึงภาคประชาชนในฐานะผู้บริโภคที่จะร่วมกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศและโลก

รวมถึงปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณปีละ 1,200 เมกะวัตต์จึงจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาโรงไฟฟ้าใหม่เพิ่มขึ้น และเนื่องจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศมีการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติสูงถึงร้อยละ 70 รองลงมาได้แก่ ลิกไนท์และถ่านหิน รวมประมาณร้อยละ 20 ที่เหลือเป็นพลังงานหมุนเวียนและการซื้อไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย) ดังนั้น เพื่อลดความเสี่ยงจากการพึ่งพาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในการผลิต

ไฟฟ้าที่มากเกินไป ในแผน PDP ฉบับปัจจุบันจึงกำหนดให้มีการพัฒนาโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลักจากถ่านหินนำเข้า และพลังงานนิวเคลียร์ แต่หลังจากเกิดเหตุการณ์ที่โรงไฟฟ้าฟูกูชิมาในประเทศญี่ปุ่นแล้ว รัฐบาลได้มีนโยบายให้เลื่อนแผนการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ออกไปก่อน

กระทรวงพลังงานร่วมกับคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานจึงเกิดความตระหนักจากปัญหาดังกล่าวจึงมีนโยบายให้ประชาชนร่วมกันลดปริมาณการใช้พลังงาน และให้มีส่วนร่วมในการสร้างโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังานงานทดแทนขึ้นสามารถเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยการลดปริมาณของก๊าซเรือนกระจกได้อาจเป็นหน่วยเล็กๆแต่หากร่วมมือกันหลายๆฝ่ายแล้วย่อมกลายเป็นพลังที่ยิ่งใหญ่ได้โดยการประเมินและวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในบทความนี้ได้เริ่มจากการศึกษาองค์ประกอบ ขั้นตอนการสร้างโรงงานผลิตกระแสฟ้า และกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า 1MW และโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasification ขนาดกำลังการผลิต 1MW

จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อประเมินและวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
2. เพื่อประเมินและวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasifier
3. เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ประเมิณความคุ้มค่าทางเศรฐศาสตร์ และชี้แนะแนวทางการเลือกสร้างโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1 MW

นิยามศัพท์เฉพาะ

การปันส่วน(Allocation) เป็นการแบ่งส่วนปริมาณสารขาเข้าหรือสารขาออกของกระบวนการหรือระบบของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาไปยังผลิตภัณฑ์เป้าหมายและผลิตภัณฑ์อื่นๆที่เกิดขึ้นในระบบของผลิตภัณฑ์

ก๊าซเรือนกระจก(Greenhouse gases, GHGs) ในที่นี้มีรวมถึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO2) มีเทน(CH4) ไนตรัสออกไซด์(N2O) กลุ่มไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน(HFCs) กลุ่มเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน(PFCs) และซัลเฟอร์เฮ็กซาฟลูโอไรด์(SF6) และก๊าซอื่นๆที่มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเรือนกระจก

ขอบเขตของระบบ(System boundary) หมายถึงขอบเขตของกระบวนการที่อยู่ภายใต้ระบบของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการพิจารณา

ข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์(Product category rules: PCRs) หมายถึงกฎเกณฑ์หรือข้อกำหนดที่ถูกกำหนดขึ้นตามแนวทางการพัฒนาฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3 (Type III environmental declarations)และมีความเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มผลิตภัณฑ์

ข้อมูลปฐมภูมิ(Primary data) หมายถึงข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในโรงงานหรือองค์กรโดยตรง

ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) หมายถึงข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูลอื่นที่อยู่นอกเหนือจากการตรวจวัดในโรงงานหรือองค์กรโดยตรง

ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า(Carbon dioxide equivalent, CO2e) หมายถึงหน่วยแสดงความสามารถในการทำให้โลกร้อนเมื่อเทียบในรูปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO2)

ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน(Global Warming Potential: GWP) หมายถึงค่าศักยภาพของก๊าซเรือนกระจกในการทำให้โลกร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนและอายุของก๊าซนั้นๆในบรรยากาศโดยคิดเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผลิตภัณฑ์ร่วม(Co-product) หมายถึงผลิตภัณฑ์อื่นที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเดียวกัน

หน่วยการทำงาน(Functional unit) หมายถึงหน่วยผลิตภัณฑ์ซึ่งใช้กำหนดขอบเขตการจัดเก็บข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์

OTOP หมายถึงโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์หรือ One Tumbon One Product (OTOP) เป็นโครงการสำคัญของรัฐบาลที่มุ่งหวังให้คนในชุมชนได้นำภูมิปัญญาที่มีอยู่มาพัฒนาสร้างสรรค์เป็นผลิตภัณฑ์จำหน่ายสร้างรายได้ให้กับตนเองครอบครัวและชุมชน

มผช. ย่อมาจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนซึ่งเป็นการรับรองมาตรฐานโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรมซึ่งสมอ. มีโครงการจัดทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเพื่อรองรับการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชนหรือระดับพื้นบ้านที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควรการรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชนหมายถึงการให้การรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชนของผู้ผลิตในชุมชนที่เกิดการรวมกลุ่มกันประกอบกิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งทั้งที่จดทะเบียนอย่างเป็นทางการหรือที่ไม่มีการจดทะเบียนเป็นการรวมกลุ่มเองโดยธรรมชาติหรือชุมชนในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการคัดเลือกจากจังหวัดและ/หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้ประกาศกำหนดไว้แล้ว

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุน พลังงาน จากมาตรการ ในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงิน ที่จ่ายออกไป ภายใต้ โครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราลดค่า (discount rate) หรือค่าของทุน (cost of capital) ที่กำหนดจากคำนิยามข้างต้น การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) หมายถึงอัตราลดค่า (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบัน ของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุน เท่ากับมูลค่าปัจจุบัน ของกระแส เงินสด ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการ ประหยัดพลังงาน ตลอดอายุ โครงการ จากคำนิยามข้างต้น การคำนวณหา อัตราผลตอบแทนลดค่า

มูลค่าปัจจุบันของเงิย (Present Value of Cash) คือ มูลค่าของเงินในอนาคต ที่คิดลดด้วยอัตราดอกเบี้ย ลงมาจนถึง ณ เวลา ปัจจุบันที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าของเงิน

กระแสเงินออก (Cash Outflows) คือ เงินที่ เราจ่ายลงทุน ซึ่งหมายถึงเงินที่จ่ายออกไปนั่นเอง

กระแสเงินเข้า (Cash Inflows) คือ เงิน หรือ ผลตอบแทนเป็นเงินที่ได้รับจากการลงทุน

กระแสเงินสุทธิ (Net Cash Flows) คือ ผลลัพท์ ระหว่าง กระแสเงินออกกับกระแสเงินเข้าภายในงวดเดียวกัน

สมมติฐานการวิจัย

โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasifier มีค่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ต่อ 1 หน่วย ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยการผลิตกระแสไฟฟ้าทั้งประเทศ

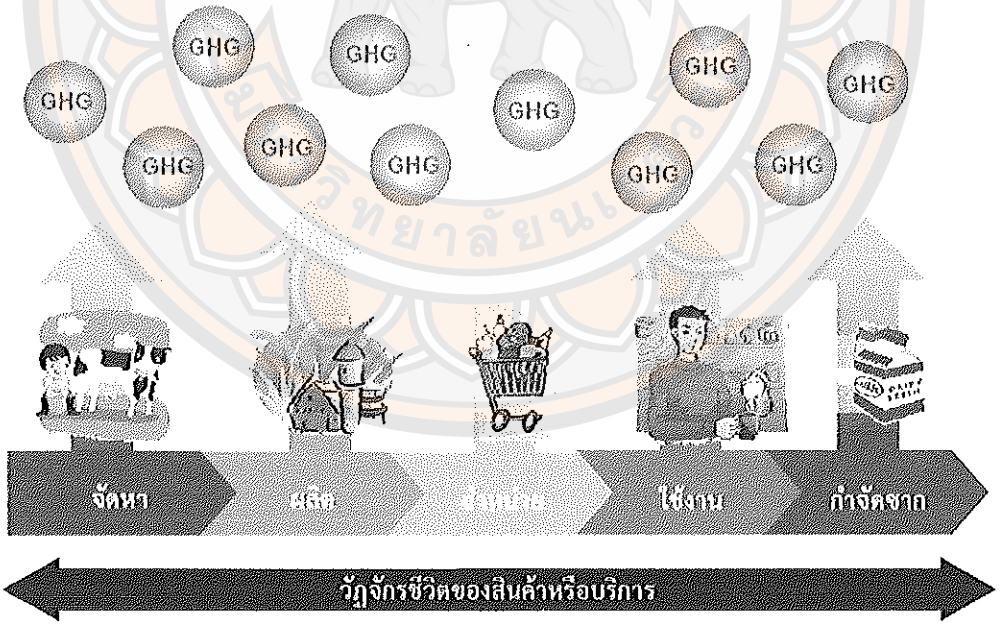
บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint)

เป็นที่กล่าวถึงเป็นอย่างมากในระยะเวลาที่ผ่านมาในบทบาทของเครื่องมือตอบสนองต่อความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะในประเด็นเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climatechange) คาร์บอนฟุตพริ้นทถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางทั้งในภาครัฐภาคธุรกิจและสื่อโฆษณาต่างๆการได้รับความนิยมของหลักการดังกล่าวมีส่วนเกี่ยวข้องกับระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นในบรรยากาศของโลกในช่วงเวลาที่ผ่านมา

คาร์บอนฟุตพริ้นท์คือข้อมูลที่บ่งบอกปริมาณก๊าซเรือนกระจก(Greenhouse gas: GHG) ที่ผลิตขึ้นจากกิจกรรมต่างๆโดยตลอดวัฏจักรชีวิตของสินค้าหรือบริการตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบการขนส่งการผลิตการประกอบชิ้นส่วนตลอดจนการจัดจำหน่ายการใช้งานและการกำจัดโดยแสดงเป็นปริมาคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2equivalent: CO_2e)



ภาพ 1 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตลอดวัฏจักรชีวิตของสินค้าหรือบริการ

ที่มา: http://energy.go.th/2015/

คาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยอาศัยหลักการที่เรียกว่า "การประเมินวัฏจักรชีวิต(Life cycle assessment: LCA)" ซึ่งเป็นวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมประเด็นต่างๆในเชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์กระบวนการหรือกิจกรรมโดยพิจารณาถึงการใช้ทรัพยากรพลังงานและการปลดปล่อยของเสียรูปแบบต่างๆครอบคลุมทุกขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการตั้งแต่จัดหาวัตถุดิบจนถึงการกำจัดซากทั้งนี้เพื่อนำผลไปใช้ในการกำหนดนโยบายการออกแบบผลิตภัณฑ์การปรับกระบวนการผลิตหรือเพิ่มทางเลือกในการผลิตเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ LCA เป็นส่วนหนึ่งในมาตรฐานระบบจัดการสิ่งแวดล้อม(ISO 140001) โดยมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับLCA ถูกบรรจุใน ISO 140402 และ ISO 140443 โดยคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นส่วนหนึ่งของ LCA เพราะ LCA จะบ่งบอกผลกระทบสิ่งแวดล้อมในหลายประเด็นในขณะที่คาร์บอนฟุตพริ้นท์จะพิจารณาเพียงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพียงประเด็นเดียว

ก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดมีอายุในชั้นบรรยากาศความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนความสามารถในการดักจับความร้อนความสามารถในการดูดซับความร้อนไม่เหมือนกันดังนั้นจึงมีความสามารถในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนไม่เท่ากันค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential: GWP) จึงถูกกำหนดขึ้น เพื่อบ่งบอกความสามารถในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด เช่นเมื่อพิจารณาในช่วงอายุหนึ่งร้อยปีพบว่ามีเทนและไนตรัสออกไซด์มีค่า GWP เป็น 25 $kgCO_2e/kg$ และ 298 $kgCO_2e/kg$ ตามลำดับ หมายความว่ามีเทนสามารถดักจับความร้อนในบรรยากาศได้ดีกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 25 เท่ากล่าวคือการปลดปล่อยมีเทน 1 กิโลกรัมสู่บรรยากาศจะก่อให้เกิดผลต่อภาวะโลกร้อนเทียบเท่ากับการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ25 กิโลกรัมส่วนไนตรัสออกไซด์สามารถดักจับความร้อนในบรรยากาศได้ดีกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 298 เท่ากล่าวคือ การปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์ 1 กิโลกรัมสู่บรรยากาศจะก่อให้เกิดผลต่อภาวะโลกร้อนเทียบเท่ากับการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ 298 กิโลกรัมเป็นต้น

ตาราง 1 ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential:GWP) และแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ ก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด

ก๊าซเรือนกระจก	GWP*	แหล่งกำเนิด
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)	1	การเผาไหม้:เชื้อเพลิงฟอสซิลเช่นถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติการตัดไม้ทำลายป่าและเผาป่า
มีเทน (CH4)	25	การเลี้ยงปศุสัตว์หลุมฝังกลบรั่วไหลจากการทำเหมืองขยะมูลฝอยน้ำเสียการปลูกข้าวแบบน้ำท่วมขัง
ไนตรัสออกไซด์ (N2O)	298	การใช้ปุ๋ยการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลกาผลิตสารเคมีและการเกษตรกรรม
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF6)	22,800	รั่วไหลจากอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์การหลอมแมกนีเซียม High voltage switchgear
เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs)	7,390-12,200	อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เครื่องดับเพลิงการผลิตอลูมิเนียมขั้นต้น
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)	124-14,800	รั่วไหลจากเครื่องปรับอากาศตู้เย็นสเปรย์น้ำยาดับเพลิง ฯลฯ

ที่มา: IPCC, 2007

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ International Standard Organization (ISO)

มาตรฐาน ISO เรื่องคาร์บอนฟุตพริ้นท์ถูกกล่าวถึงในฐานะหมวดหมู่ย่อยของการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยมีมาตรฐานเกี่ยวกับกรอบการดำเนินงานกำหนดไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 (Environmental management – Life cycle assessment– Principles and framework) ซึ่งบ่งบอกหลักการและกรอบการดำเนินงานสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต ประกอบด้วยการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการ

ประเมินวัฏจักรชีวิตการวิเคราะห์ข้อมูลบัญชีรายการการประเมินผลกระทบการตีความการรายงานและการตรวจสอบอย่างละเอียด (Critical review) ข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิตความสัมพันธ์ของแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตและ ISO14044 (Environmental management Life cycle assessment Requirementsand guidelines) โดยให้แนวทางสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต การเริ่มจัดทำ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในหลายประเทศจึงได้ใช้มาตรฐานดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นในการกำหนดแนวทางสำหรับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่สอดคล้องกับของตนเองขึ้น

นอกจากนี้ ISO ยังมีมาตรฐานอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ประกอบด้วย ISO14064 (Greenhouse gases) ซึ่งจะให้รายละเอียดเกี่ยวกับหลักการและข้อต้องการที่เกี่ยวกับการวัดการจัดการและการรายงานการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรหรือผลิตภัณฑ์ (อาศัยต้นแบบจาก GHG Protocol) ISO14025(Greenhouse gases – Requirements for greenhouse gas validation and verification bodies for use in accreditation or other forms of recognition)

ซึ่งจะให้หลักการสำหรับการใช้ข้อมูลสิ่งแวดล้อมฉลากและการแสดงข้อมูลและเมื่อปี 2008 ISO ได้เริ่มพัฒนา ISO/WD 14067 ซึ่งเป็นมาตรฐานคาร์บอนฟุต พริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprints of Products) โดยมุ่งหวังจะให้เป็นมาตรฐานสากลที่จะใช้สำหรับอ้างอิงในการวัดรายงานและทดสอบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์มี 2 ฉบับด้วยกันคือ ISO 14067-1 (Quantifying the carbon footprint, and monitoring and tracking progress in product GHG mitigation) ซึ่งพัฒนาจาก ISO 14000 Series โดย ISO 14040, ISO 14044 รวมถึง ISO 14025 และ ISO 14067-2 (Communicating the carbon footprint, and monitoring and tracking progress in product GHG mitigation) ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวคาดการณ์ว่าจะแล้วเสร็จในปี 2012

1. Publicly Available Specification 2050 (PAS 2050)

PAS 2050 หรือ Publicly Available Specification 2050: 2008 -Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services

พัฒนาขึ้นโดยความร่วมมือระหว่างสถาบันมาตรฐานแห่งชาติของประเทศอังกฤษ (British Standards Institution: BSI) องค์กรคาร์บอนทรัสต์ (Carbon Trust) และกระทรวงสิ่งแวดล้อม อาหารและกิจการชนบทของประเทศอังกฤษ (Department of Environment Food and Rural Affairs:Defra) ตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อเดือนตุลาคม 2008 โดย PAS 2050 เป็นมาตรฐานหนึ่งที่มีจุดเริ่มต้นจาก ISO 14040/44 กล่าวได้ว่า PAS 2050 คืออนุพันธ์หนึ่งของ ISO 14040/44 ซึ่งเป็นครั้งแรกในการสร้างหลักการพื้นฐานสำหรับการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ PAS 2050 โดยบ่งบอกถึงข้อต้องการสำหรับการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของสินค้าและบริการตามเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต เช่นการกำหนดขอบเขตของระบบแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตของระบบข้อมูลที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์และคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยพิจารณาจากปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 6 ชนิดดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ตามที่กำหนดในพิธีสารเกียวโตขอบเขตการพิจารณาจะครอบคลุมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการ รวมถึงการใช้งานนอกจากนี้ยังพิจารณาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่เกิดขึ้นตั้งแต่ปี 1990 ด้วย ส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ไม่พิจารณาประกอบด้วยก๊าซเรือนกระจกจากสินค้าทุน (Capital goods) เช่นเครื่องจักร (Machinery) เครื่องมือ(Equipment) และสิ่งก่อสร้าง (Building) ที่ใช้ในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์การขนส่งคนงานมายังสถานที่ปฏิบัติงานการใช้แรงงานคนและการบริการขนส่งโดยสัตว์ความแตกต่างที่สำคัญของ ISO 14040/44 กับ PAS 2050 คือ PAS 2050 ได้ให้ความสำคัญเพียงเฉพาะกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์กล่าวคือผลกระทบในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยมิได้พิจารณาถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านอื่นๆร่วมด้วยเมื่อพิจารณาถึงประเด็นด้านวิธีการของทั้ง 2 มาตรฐาน เห็นว่ามีความแตกต่างในรายละเอียดอยู่โดยสิ่งที่เห็นชัดเจนที่สุดคือวิธีการปันส่วนคาร์บอนฟุต พริ้นท์ระหว่างผลิตภัณฑ์รวม (Co-product) นอกจากนี้ PAS 2050 ยังมีหลักการและเทคนิคเพิ่มเติมที่กล่าวถึงลักษณะจำเป็นของการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Land use change) ผลจากการกักเก็บคาร์บอน (Carbon storage) และการนับซ้ำ (Double counting) ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน อย่างไรก็ตาม PAS 2050 ยังคงมีประเด็นที่ยังหาข้อสรุปที่ชัดเจนไม่ได้อาทิเช่นการรีไซเคิลแบบปลายเปิด(Open loop) การปันส่วน (Allocation) และความไม่แน่นอน (Uncertainty) แม้กระนั้น PAS 2050 ยังคงได้ถูกนำไปปรับแก้และประยุกต์ใช้สำหรับคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในหลายๆประเทศอาทิเช่น สหราชอาณาจักรภายใต้การดำเนินการขององค์กรคาร์บอนทรัสต์ได้จัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ 75 ผลิตภัณฑ์จาก 20 บริษัทเช่น Tesco,WalkersCrisp,Cadbury Schweppes และ Boots ทั้งนี้เพื่อทดสอบวิธีการ

คำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่กำหนดใน PAS 2050 วิธีการดังกล่าวไม่เพียงแต่เป็นการทดสอบเพื่อค้นหาวิธีการ พัฒนาและประยุกต์ใช้มาตรฐานเท่านั้นแต่ยังเป็นการสร้างโอกาสทางธุรกิจจากการวัดการสื่อสารข้อมูล ตลอดจนการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในอนาคตอีกด้วย อย่างไรก็ตามจากโครงการนำร่องคาร์บอนฟุตพริ้นท์ดังกล่าวได้มีข้อคิดเห็นจากผู้เข้าร่วมโครงการถึงความหลากหลายของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์อันจะเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ดังนั้นผู้เข้าร่วมโครงการเห็นว่าควรผลักดันให้มีการพัฒนามาตรฐานที่จะเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในระดับสากลขึ้นให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ในประเทศเยอรมนีมีมีโครงการนำร่องประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์อาหารและไม่ใช่อาหารที่แตกต่างกันกว่า 10 ผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธีการตามที่กำหนดใน ISO 14040 และ ISO 14044

2. Greenhouse Gas Reporting Protocol (GHG Protocol)

GreenhouseGas Reporting Protocol (GHG Protocol)พัฒนาโดยสถาบันทรัพยากรโลก (World Resources Initiative: WRI) และกลุ่มองค์กรเครือข่ายด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืนของโลก (World Business Council for Sustainable Development: WBCSD) เพื่อให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นมาตรฐานสำหรับการวัดและรายการบัญชีก๊าซเรือนกระจกที่ได้รับการยอมรับและนำไปใช้อย่างแพร่หลายในระดับสากลและเมื่อกันยายน 2008 WRI และ WBCSD ยังได้เริ่มพัฒนาวิธีการมาตรฐานสำหรับบริษัทในการเก็บรวบรวมบัญชีรายการวิเคราะห์และจัดการการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดสายโซ่การผลิตในระดับผลิตภัณฑ์ (Product and Supply Chain GHG Accounting and Reporting Standard) ของตนเองโดยมาตรฐานฉบับใหม่นี้มีแผนเริ่มใช้ในปี 2010 โดยจะรวมแนวทางสำหรับทั้ง Life Cycle Accounting การคำนวณและรายงานการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่สาม (แหล่งกำเนิดทางอ้อมอื่นๆ) ด้วยและคาดหวังว่าจะถูกใช้และได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในระดับสากลความเป็นมาของมาตรฐานสากลสำหรับการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์แสดงดังภาพ

ภาพ 2 ความเป็นมาของมาตรฐานสากลสำหรับการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ที่มา: http://www.pcf-projekt.de/files/1241103260/lessons-learned_2009.pdf

นอกจากนี้ประเทศอื่นๆอีกหลายประเทศได้มีความพยายามพัฒนาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของตนเองขึ้นบ้างภายหลังจากมีการตีพิมพ์ PAS 2050 ดังตัวอย่าง

2.1 ประเทศญี่ปุ่น กระทรวงเศรษฐกิจการค้าและอุตสาหกรรมได้ริเริ่มการพัฒนาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Japan Carbon Footprint System) ซึ่งเป็นแบบแผนเชิงสมัครใจขึ้นโดยแบบแผนดังกล่าวได้ถูกจำลองขึ้นบนพื้นฐานของมาตรฐานของประเทศอังกฤษแบบแผนดังกล่าวได้เปิดตัวและทดลองใช้ครั้งแรกเมื่อเดือนเมษายน 2009 ในเบื้องต้นมุ่งหวังจะดำเนินการกับ 57 ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันตัวอย่างบริษัทใหญ่ๆที่เข้าร่วมการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศญี่ปุ่นได้แก่ Sapporo Breweries และ Seven- Eleven

2.2 สหภาพยุโรปได้มีการร่างข้อบังคับสำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพที่จะรวมข้อต้องการที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพ

2.3 รัฐแคลิฟอร์เนียประเทศสหรัฐอเมริกาได้เสนอ Low Carbon Fuel Standard โดยมีใจความสำคัญว่าตั้งแต่ปี 2011 เป็นต้นไปจนถึงปี 2020 บริษัทต่างๆจะต้องลดปริมาณคาร์บอนของเชื้อเพลิงที่ใช้ด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นทุกปีหรือซื้อเครดิตจากบริษัทที่ขายเชื้อเพลิงที่สะอาดกว่าเป็นการทดแทน

2.4 ประเทศไทยได้รับทุนจากสหภาพยุโรปทั้งในการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับ PAS 2050 และการนำไปประยุกต์ใช้ ประเทศไทยได้พัฒนาแนวทางการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นทของตนเองขึ้นโดยมีการตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อธันวาคม 2009 โดยแนวทางดังกล่าวพัฒนามาจาก ISO14067 (ประเด็นที่ตกลงกันแล้ว) PAS 2050 รวมถึงมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น

ปัจจุบันมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ยังมีอีกหลายฉบับด้วยกันเช่น Carbon Footprint Program (Japan PCF), BP X30-323, Carbon index Casino,Greenext, Korea PCF, Food labeling SE, Climatop เป็นต้น

วิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

แนวทางการประเมินรอยเท้าคาร์บอนหรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ได้กำหนดวิธีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยใช้หลักการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบกระบวนการผลิตการใช้งานและการกำจัดเศษซากหลังการใช้งานซึ่งผู้ผลิตสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle-to-Grave) หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตในโรงงาน (Cradle-to-Gate) สำหรับแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศไทยนั้นมีการจัดทำข้อกำหนดที่เป็นเกณฑ์กลางสำหรับใช้ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับทุกผลิตภัณฑ์เท่านั้นส่วนในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ได้มีการจัดทำข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product Category Rules: PCRs) เพื่อให้สามารถประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันมากขึ้นทั้งนี้ในส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มีการจัดทำข้อกำหนดไว้ก็สามารถนำข้อกำหนดที่พัฒนาขึ้นตามมาตรฐานต่างประเทศหรือทำการพัฒนาข้อกำหนดขึ้นมาใหม่เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันได้ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังนี้คือการเลือกผลิตภัณฑ์การจัดทำแผนผังวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์การกำหนดขอบเขตการประเมิน การรวบรวมข้อมูล การคำนวณ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และการตรวจสอบความถูกต้อง

1. ประโยชน์จากการประยุกต์ใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์

การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์นอกจากจะสามารถบ่งบอกภาระสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตและบ่งบอกสาเหตุสำคัญของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแล้วยังสามารถใช้เพื่อทำนายผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงวิธีการผลิตหรือวัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์เพื่อให้ทราบว่า

วิธีการหรือวัสดุใหม่จะก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรชีวิต ขั้นตอนต่อไปนี้

1.1 การกำหนดวัตถุประสงค์และเลือกผลิตภัณฑ์

กำหนดวัตถุประสงค์ในการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์เช่นเพื่อสื่อสารต่อลูกค้าเพื่อแสดงข้อมูลต่อผู้บริโภคเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกวิธีการผลิตเพื่อประกอบการพิจารณาออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่เป็นต้นการกำหนดวัตถุประสงค์มีความสำคัญมากเพราะจะมีผลต่อขั้นตอนอื่นๆต่อไป

การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ควรกำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของโครงการประเด็นสำคัญที่ควรนำมาพิจารณาคือเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจนได้รับการรับรองฉลากคาร์บอนได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโอกาสในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความได้เปรียบในเชิงการแข่งขันเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและมีโอกาสทางด้านการตลาดเพื่อสิ่งแวดล้อมและมีศักยภาพในการส่งออกไปยังประเทศที่มีข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมโอกาสและความร่วมมือจากผู้จัดหาวัตถุดิบเวลาและทรัพยากรที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้สามารถวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้เป็นต้น

ทั้งนี้ หากผู้ประกอบการยังไม่เคยมีประสบการณ์ในการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์มาก่อนอาจจะเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ที่ง่ายๆก่อนเช่นผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการผลิตง่ายๆใช้วัตถุดิบน้อยๆมีสายโซ่การผลิตสั้นๆซึ่งจะช่วยให้ผู้ประกอบการมีประสบการณ์และคุ้นเคยกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ดีกว่าเมื่อเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะศึกษาได้แล้วจะต้องวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เพื่อกำหนดหน่วยอ้างอิงโดยหน่วยอ้างอิงควรจะสะท้อนให้เห็นถึงวิธีที่ผลิตภัณฑ์ถูกนำไปใช้โดยผู้บริโภคเช่นน้ำผลไม้บรรจุขวดแก้วปริมาตร 250 มิลลิลิตรจำนวน 1 ขวดเป็นต้น

2. การกำหนดขอบเขตการประเมิน

ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถทำได้ 2 รูปแบบคือ

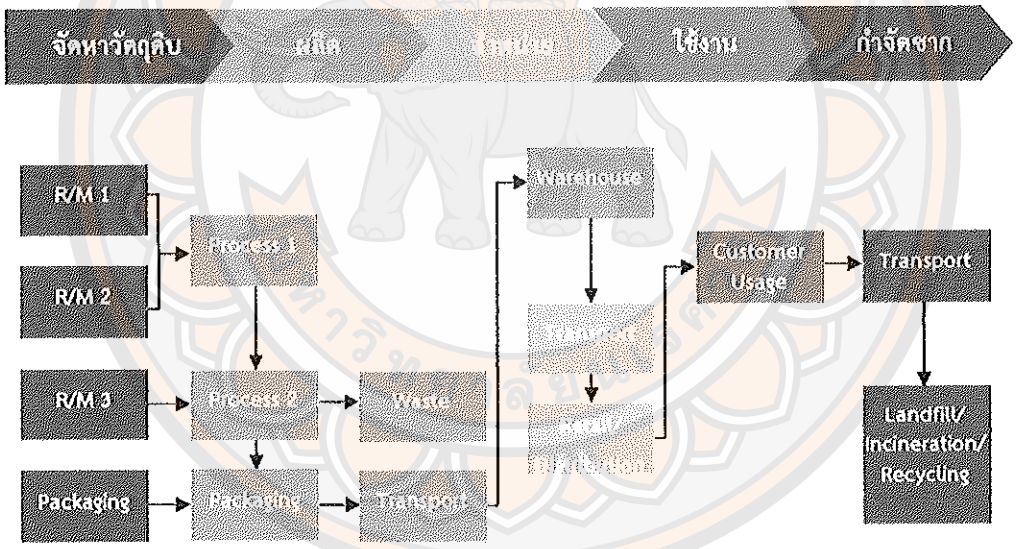
2.1 แบบ Business-to-Consumer (B2C): เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบกระบวนการผลิตการใช้งานและการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ซึ่งเรียกว่าการประเมินแบบ Cradle-to-Grave

2.2 แบบ Business-to-Business (B2B): เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ขั้นตอนการ

ได้มาซึ่งวัตถุดิบกระบวนการผลิตจนถึงณหน้าโรงงานพร้อมส่งออกหรือจนถึงที่เป็นสารขาเข้าหรือวัตถุดิบของผู้ผลิตต่อเนื่องตามที่กำหนดในข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งเรียกว่าการประเมินแบบ Cradle-to-Gate

3. การสร้างแผนที่การผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์เป้าหมาย (ตลอดสายโซ่การผลิต)

ความเข้าใจในเส้นทางการไหลของกระบวนการและวัสดุต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป็นขั้นตอนที่จำเป็นในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนนี้จะต้องระบุสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับแต่ลกระบวนการโดยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งโดยทั่วไปวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จะประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 5 ขั้นตอนแผนที่การผลิตอย่างง่ายของผลิตภัณฑ์แสดงดังภาพ 3



ภาพ 3 แผนที่การผลิตอย่างง่ายของผลิตภัณฑ์

ที่มา: http://www.fao.org/sustainable-food-value-chains/library/details/en/c/266040/

4. การเก็บข้อมูลมลพิษทั้งทางตรงและทางอ้อม

การเก็บรวมรวมข้อมูลคือขั้นตอนที่เป็นหัวใจสำคัญในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยทั่วไปการวัดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงด้วยเครื่องมือวัดเป็นวิธีการที่ไม่ค่อยได้รับความนิยมนักโดยเฉพาะประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายบังคับให้ผู้ผลิตต้องรายงานข้อมูลตรวจวัดก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นมักได้จากการคำนวณโดยอาศัยหลักสมดุลมวลสาร (Mass balance) หรือหลักปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) อย่างไรก็ตามวิธีที่นิยมที่สุดสำหรับการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกคือการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Emission Factor)

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการเก็บข้อมูล

1. ข้อมูลที่จัดเก็บต้องสอดคล้อง/จำเพาะเจาะจงกับช่วงเวลาที่กำหนด
2. ข้อมูลที่จัดเก็บต้องสอดคล้อง/จำเพาะเจาะจงกับผลิตภัณฑ์เป้าหมาย
3. ข้อมูลที่จัดเก็บต้องสอดคล้อง/จำเพาะเจาะจงกับเทคโนโลยีและกระบวนการที่ใช้
4. ข้อมูลที่ใช้ต้องมีความถูกต้องเช่นข้อมูลแบบจำลองและสมมติฐาน
5. ข้อมูลต้องมีความแม่นยำเช่นต้องมีการวัดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล
6. ข้อมูลต้องครบถ้วนเช่นขนาดของกลุ่มตัวอย่างต้องใหญ่พอและเป็นตัวแทนของกลุ่มย่อยของผลิตภัณฑ์สัดส่วนของข้อมูลที่ใช้ต้องถูกวัดอย่างถูกต้องเมื่อเทียบกับข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลทั่วไป
7. ข้อมูลมีความแน่นอน
8. ข้อมูลต้องทำซ้ำได้
9. ข้อมูลต้องบ่งบอกที่มาชัดเจน

ชนิดของข้อมูล

โดยทั่วไปข้อมูลที่ใช้สำหรับคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์มี 2 ประเภทคือ

1. ข้อมูลกิจกรรม(Activity data) หมายถึงปริมาณจำเพาะของวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในกิจกรรมต่างๆโดยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการเช่นปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ปริมาณน้ำที่ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ รูปแบบและระยะทางในการขนส่งทางรถยนต์รถไฟเครื่องบิน เป็นต้น

2. ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG emission factor)หมายถึงตัวเลขที่บ่งบอกปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆโดยจะมีหน่วยเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยของกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกนั้นเช่น ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยมี ค่าเท่ากับ 0.561 KgCO2e/kWh

ข้อมูลกิจกรรมและค่าสัมประสิทธิ์ฯอาจเป็นข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) หรือข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) หากข้อมูลกิจกรรมเป็นข้อมูลปฐมภูมิทั้งหมดจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงสูงแต่การจัดเก็บข้อมูลปฐมภูมิให้ได้ทุกกิจกรรมโดยตลอดวัฏจักรชีวิตเป็นสิ่งที่ไม่อาจทำได้ในทางปฏิบัติดังนั้นโดยปกติแล้วข้อมูลเหล่านี้จึงอาจเป็นข้อมูลปฐมภูมิหรือข้อมูลทุติยภูมิก็ได้ซึ่งในมาตรฐาน PAS 2050 ได้กำหนดให้บริษัทผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ใช้ข้อมูลปฐมภูมิสำหรับกระบวนการที่บริษัทเป็นเจ้าของหรือกระบวนการที่อยู่ภายใต้การควบคุมและดำเนินการของบริษัทเองได้แก่ปริมาณทรัพยากรที่ใช้พลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการของเสียหลักๆที่เกิดขึ้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายเป็นต้นนอกเหนือจากข้อมูลเหล่านี้ให้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิซึ่งหมายถึงข้อมูลทั่วไปที่ไม่ได้เฉพาะเจาะจงกับบริษัทโดยตรงแต่เป็นข้อมูลที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลที่ต้องการได้ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องใช้ข้อมูลทุติยภูมิเพื่อความสอดคล้องในการประเมิน

PAS 2050 ได้กำหนดให้ใช้ข้อมูลปฐมภูมิสำหรับกระบวนการและวัสดุที่องค์กรที่จัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นเจ้าของดำเนินการหรือควบคุมด้วยตนเองสำหรับร้านค้าปลีกหรือองค์กรอื่นที่ไม่ได้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบให้ใช้ข้อมูลปฐมภูมิสำหรับกระบวนการและวัสดุที่ควบคุมโดยผู้จัดหาวัตถุดิบต้นน้ำที่ใกล้ชิดที่สุดเท่านั้นส่วนในกระบวนการปลายน้ำเช่นการใช้งานการกำจัดซากไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลปฐมภูมิ

โดยทั่วไปให้ใช้ข้อมูลกิจกรรมที่เป็นข้อมูลปฐมภูมิให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพราะว่าจะให้ความเข้าใจเกี่ยวกับการปลดปล่อยที่แท้จริงและช่วยบ่งบอกโอกาสการปรับปรุงประสิทธิภาพอย่างแท้จริง

ข้อมูลกิจกรรมที่เป็นข้อมูลปฐมภูมิควรเป็นตัวแทนและสะท้อนสภาพที่พบโดยปกติของผลิตภัณฑ์เป้าหมายคำแนะนำเกี่ยวกับการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวส่วนใหญ่ในสายโซ่การผลิตที่หลากหลาย

ข้อมูลกิจกรรมที่เป็นข้อมูลปฐมภูมิสามารถเก็บรวบรวมตลอดสายโซ่การผลิตโดยทีมงานของบริษัทเองหรือโดยบุคคลที่สาม (ที่ปรึกษา) ซึ่งในทางปฏิบัติข้อมูลประเภทนี้จะช่วยบอกผู้ที่เกี่ยวข้องในแต่ละส่วนของสายโซ่การผลิตให้แน่ใจว่าแผนที่การผลิตถูกต้องและข้อมูลถูกจัดเก็บอย่างเพียงพอข้อมูลอาจมีอยู่แล้วในบริษัทหรืออาจต้องมีการวิเคราะห์ขึ้นใหม่ในบางกรณีการเก็บข้อมูลกิจกรรมแบบปฐมภูมิอาจต้องมีการติดตั้งเครื่องมือวัดใหม่เช่นมิเตอร์หรือมิเตอร์ย่อยเป็นต้น

ถ้าข้อมูลกิจกรรมที่เป็นข้อมูลปฐมภูมิไม่สามารถหาได้อาจต้องใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากแหล่งอื่นแทนการวัดจริงในบางกรณีข้อมูลทุติยภูมิอาจเหมาะสมกว่าอย่างไรก็ตามข้อมูล

ทุติยภูมิทั้งในรูปของข้อมูลกิจกรรมและค่าสัมประสิทธ์ฯนั้นมีอยู่ค่อนข้างจำกัดซึ่งข้อมูลเหล่านี้แต่ละประเทศจำเป็นต้องมีการเก็บรวมรวบข้อมูเพิ่มเติมและจัดทำเป็นฐานข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Database: LCI Database) ของแต่ละประเทศขึ้นมาและในกรณีที่ไม่มีข้อมูลสำหรับอ้างอิงก็จำเป็นต้องอธิบายที่มาและรายละเอียดของข้อมูลนั้นให้ชัดเจน

แนวทางการเก็บรวบรวมข้อมูลจะถูกกำหนดให้เป็นไปตามแผนที่กระบวนการระดับสูง (High level process map) ที่ทำขึ้นมาโดยการจัดเก็บข้อมูลต้องดำเนินการตามแนวทางซึ่งช่วยให้สามารถประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้อย่างละเอียดประเภทของข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วยข้ออมูลกิจกรรม (activity data) และสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) โดยข้อมูลกิจกรรมคือปริมาณวัสดุและพลังงานที่เกี่ยวข้องโดยตลอดวัฏจักรชีวิตได้แก่วัสดุที่เข้าวัสดุที่ออกพลังงานที่ใช้เป็นต้นส่วนสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกคือค่าที่ใช้สำหรับแปลงปริมาณวัสดุและพลังงานให้อยู่ในรูปขอปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยข้อมูลกิจกรรมและค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอาจได้จากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิหรือทุติยภูมิก็ได้ข้อมูลปฐมภูมิคือข้อมูลที่ตรวจวัดโดยตรงในกิจกรรมที่สนใจส่วนข้อมูลทุติยภูมิคือข้อมูลค่าเฉลี่ยหรือค่าทั่วไปที่ไม่เฉพาะเจาะจงการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์หากเป็นไปได้ควรใช้ข้อมูลปฐมภูมิสำหรับทุกกระบวนการโดยเฉพาะในกิจกรรมหลักที่มีส่วนสำคัญต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนข้อมูลทุติยภูมิให้ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถหาข้อมูลปฐมภูมิได้จริงๆ เท่านั้นกิจกรรมต่างๆที่มักเกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรชีวิต

ข้อมูลกิจกรรมหมายถึงข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าตลอดวงจรชีวิตของสินค้านั้น (น้ำหนักของสารขาเข้าและสารขาออกปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิตการขนส่ง

กิจกรรมที่มักจะไม่นำมาพิจารณาในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ประกอบด้วย

1. แหล่งกำเนิดที่มีผลกระทบน้อยกว่า 1% ของผลกระทบรวมทั้งหมด
2. การใช้แรงงานคน
3. การเดินทางของผู้บริโภคไปยังร้านค้าปลีก
4. การขนส่งโดยสัตว์

4.1 การปันส่วน (Allocation)

ข้อมูลที่ได้จากการผลิตสินค้าอาจพบว่าบางโรงงานอาจมีผลิตภัณฑ์ร่วมหรือผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตดังนั้นเพื่อให้การคำนวณผลมีความชัดเจนจึงต้องมีการปันส่วนข้อมูลซึ่งการปันส่วนเป็นวิธีการแบ่งหรือให้น้ำหนักกับสารขาเข้าและสารขาออกของระบบ

ผลิตภัณฑ์ที่สนใจศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทที่ชัดเจนโดยทำเพื่อเป็นการกระจายภาระทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมหนึ่งๆไปยังแต่ละผลิตภัณฑ์โดยมีหลักการสำคัญคือการปันส่วนโดยใช้คุณสมบัติทางกายภาพเช่นน้ำหนักผลิตภัณฑ์หากไม่มีข้อมูลเฉพาะของการผลิตจำเป็นต้องทำการปันส่วนโดยใช้ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เช่นการใช้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ร่วมในการกำหนดสัดส่วนที่จะใช้ในการคำนวณ

ตัวอย่างการปันส่วนโดยใช้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์

โรงงานแห่งหนึ่งมีผลิตภัณฑ์หลักเป็น 50 ชิ้นน้ำหนัก 200 กรัมต่อชิ้นและผลิตภัณฑ์ร่วม 20 ชิ้นน้ำหนัก 150 กรัมต่อชิ้นดังนั้นทำการปันส่วนตามปริมาณน้ำหนักผลิตภัณฑ์จะได้ว่า

น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลัก 50 x 200 = 10,000 กรัม

น้ำหนักผลิตภัณฑ์ร่วม 20 x 150 = 3,000 กรัม

น้ำหนักรวม 10,000 + 3,000 = 13,000 กรัม

ดังนั้นปันส่วนให้ผลิตภัณฑ์หลัก 10,000/13,000 = 77%

ปันส่วนให้ผลิตภัณฑ์ร่วม 3,000/13,000 = 23%

4.2 การปันส่วนโดยใช้มูลค่าของผลิตภัณฑ์ในบางครั้งการปันส่วนด้วยปริมาณไม่สามารถใช้เป็นพื้นฐานได้การปันส่วนตามราคาของผลิตภัณฑ์เป็นอีกวิธีการปันส่วนที่ได้รับความนิยมเนื่องจากราคาผลิตภัณฑ์จะเป็นตัวแปรที่กำหนดความต้องการในการผลิตของโรงงานจึงควรให้สัดส่วนน้ำหนักสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูงในการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีราคาต่ำกว่า

ตัวอย่างการปันส่วนโดยใช้มูลค่าของผลิตภัณฑ์

โรงงานแห่งหนึ่งมีผลิตภัณฑ์หลักเป็น 50 ชิ้นราคา 500 บาทต่อชิ้นและผลิตภัณฑ์ร่วม 20 ชิ้นน้ำหนัก 250 บาทต่อชิ้นดังนั้นทำการปันส่วนตามมูลค่าของผลิตภัณฑ์จะได้ว่า

มูลค่าของผลิตภัณฑ์หลัก 50 x 500 = 25,000 บาท

มูลค่าของผลิตภัณฑ์ร่วม 20 x 250 = 5,000 บาท

มูลค่ารวม 25,000 + 5,000 = 30,000 บาท

ดังนั้นปันส่วนให้ผลิตภัณฑ์หลัก 25,000/30,000 = 83%

ปันส่วนให้ผลิตภัณฑ์ร่วม 5,000/30,000 = 17%

การตัดออก (Cut-off rule)

เมื่อทำการศึกษากระบวนการผลิตใดๆแล้วพบว่ามีบางกระบวนการอยู่นอกเหนือวัตถุประสงค์ของการศึกษาหรือกระบวนการนั้นไม่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์เป้าหมายที่ทำการศึกษาหรือกระบวนการนั้นๆไม่สามารถวัดออกมาเป็นตัวเลขได้อาจนำหลักการตัดออกมาประยุกต์ใช้คือสมมติฐานทั่วไปของการตัดข้อมูลจะต้องมีข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดสำหรับข้อมูลที่ขาดให้สามารถตัดออกได้โดยข้อมูลที่ตัดออกต้องมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่เกินร้อยละ 5 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้งระบบผลิตภัณฑ์และเมื่อตัดออกแล้วให้ทำการเพิ่มสัดส่วน (scale up) ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากวัตถุดิบและสารขาออกรวมโดยใช้ฐานเท่ากับร้อยละ 100

5. การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

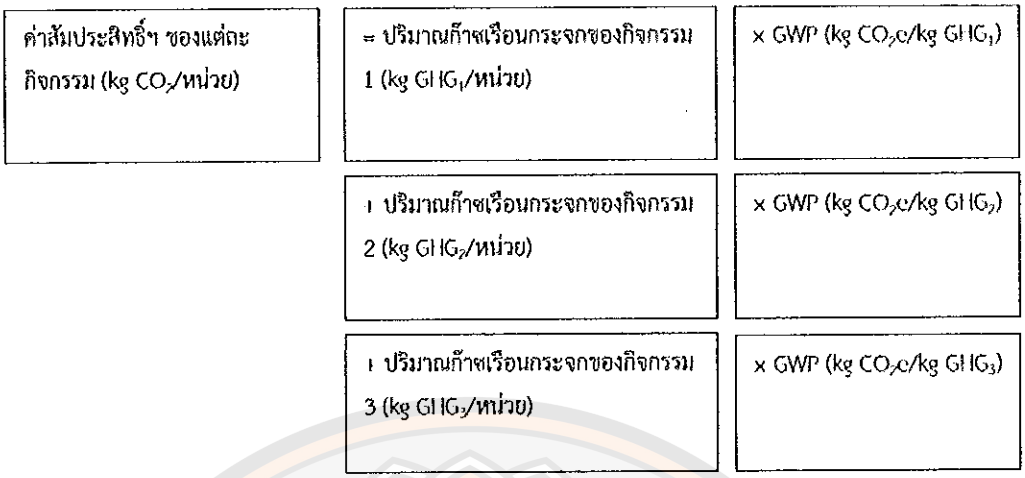
การคำนวณอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียดและวิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์โดยคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณคือผลรวมของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าดังสมการดังต่อไปนี้

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจาก กิจกรรมใด ๆ (kg CO_2e)	= ข้อมูลกิจกรรม (หน่วย)	x ค่าสัมประสิทธิ์ฯ ของแต่ละกิจกรรม (kg CO_2e/หน่วย)

ภาพ 4 หลักการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ที่มี 1 กิจกรรม

ที่มา: http://www.fao.org/sustainable-food-value-chains/library/details/en/c/266040/

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรม (kg CO_2e/หน่วย) มีค่าเท่ากับผลรวมของผลคูณระหว่างปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg GHG/หน่วย) และค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกนั้น (kg CO_2e/kg GHG) แสดงดังนี้



ภาพ 5 หลักการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ที่มีหลายกิจกรรม

ที่มา: http://www.fao.org/sustainable-food-value-chains/library/details/en/c/266040/

5.1 วิธีการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการจัดหาวัตถุดิบ

5.1.1 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัตถุดิบ

5.1.2 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกการผลิตเชื้อเพลิง

5.2 วิธีการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต

5.2.1 ปริมาณไฟฟ้าที่รับจากภายนอกที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้า

5.2.2 ปริมาณไอน้ำที่รับจากภายนอกที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไอน้ำ

5.2.3 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกการเผาไหม้เชื้อเพลิง

5.3 วิธีการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการจัดจำหน่าย

5.3.1 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการจัดจำหน่าย × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัตถุดิบ

5.3.2 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดจำหน่าย × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้า

5.3.3 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการจัดจำหน่าย × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตเชื้อเพลิง

5.3.4 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการจัดจำหน่าย × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

5.4 วิธีการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งาน

5.4.1 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการใช้งานผลิตภัณฑ์ × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัตถุดิบ

5.4.2 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการใช้งานผลิตภัณฑ์ × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้า

5.4.3 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการใช้งานผลิตภัณฑ์ × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตเชื้อเพลิง

5.4.4 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการใช้งานผลิตภัณฑ์ × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

5.5 วิธีการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการซาก

5.5.1 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการจัดการซาก × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัตถุดิบ

5.5.2 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดการซาก × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้า

5.5.3 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการจัดการซาก × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต เชื้อเพลิง

5.5.4 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการจัดการซาก × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหมเชื้อเพลิง

5.5.5 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการจัดการซาก × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกการบำบัดน้ำเสีย

5.5.6 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการจัดการซาก × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกการบำบัดของเสีย

5.6 วิธีการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง

5.6.1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตและเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือ

5.6.2 ภาระการขนส่ง × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาระการขนส่ง

6. การทำรายงานพร้อมให้คำแนะนำในการลดการปลดปล่อยมลพิษ

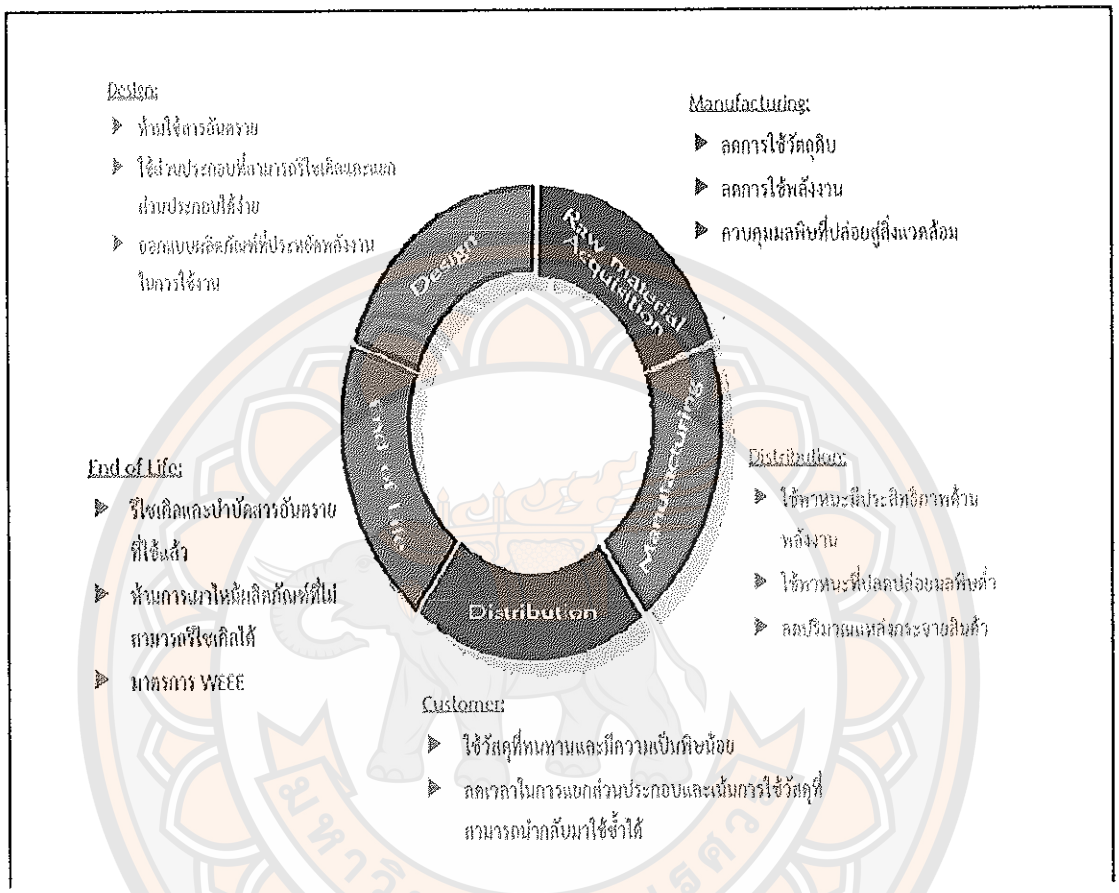
การรายงานข้อมูลเป็นการเปิดเผยข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อสื่อสารต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและแสดงให้เห็นถึงความโปร่งใสของการได้มาซึ่งข้อมูลต่างๆการรายงานต้องให้ความสำคัญกับสิ่งที่ต้องการนำเสนอและผู้ที่จะรับข้อมูลที่นำเสนอเพื่อให้เกิดประโยชน์และมีคุณค่าสูงสุดต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียการรายงานควรอธิบายถึงขั้นตอนต่างๆที่เกี่ยวข้องและความหมายของข้อมูลโดยรายละเอียดที่ควรต้องรายงานคือ

1. วิธีการที่ใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์
2. เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนด
3. ชนิดของสารที่ปล่อยออกที่นำมาพิจารณาและที่ไม่ได้นำมาพิจารณาในการคำนวณ
4. เทคนิคที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลรวมถึงระดับของความถูกต้องที่ควรจะเป็น
5. สมมติฐานหรือวิธีการประมาณค่า
6. ระดับของการทวนสอบผลที่ทำโดยบุคคลที่สาม
7. ช่วงเวลาที่รายงาน
8. ขอบเขตขององค์กรและพารามิเตอร์ต่างๆ
9. การปล่อยมลพิษเป็นในหน่วย ton CO_2e
10. การเปิดเผยแหล่งกำเนิด (Source) และดูดซับ (Sink) ก๊าซเรือนกระจกที่ไม่ได้พิจารณาพร้อมระบุเหตุผล
11. ผลของการประเมิน

นอกจากนี้ข้อมูลทางเลือกที่อาจต้องรวมไว้ด้วยได้แก่

1. รายละเอียดของนโยบายของบริษัทกลยุทธ์และแผนดำเนินการ
2. รายละเอียดของกิจกรรมการลดการปลดปล่อยและผลการดำเนินการ
3. GHG offset ที่ซื้อหรือที่พัฒนาขึ้นเอง
4. รายละเอียดการปลดปล่อยสำหรับแต่ละ facility

5. การประเมินสมรรถนะขององค์กรเทียบกับค่าเทียบเคียง (Benchmarking) ที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและภายนอก



ภาพ 6 ตัวอย่างการกำหนดแนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

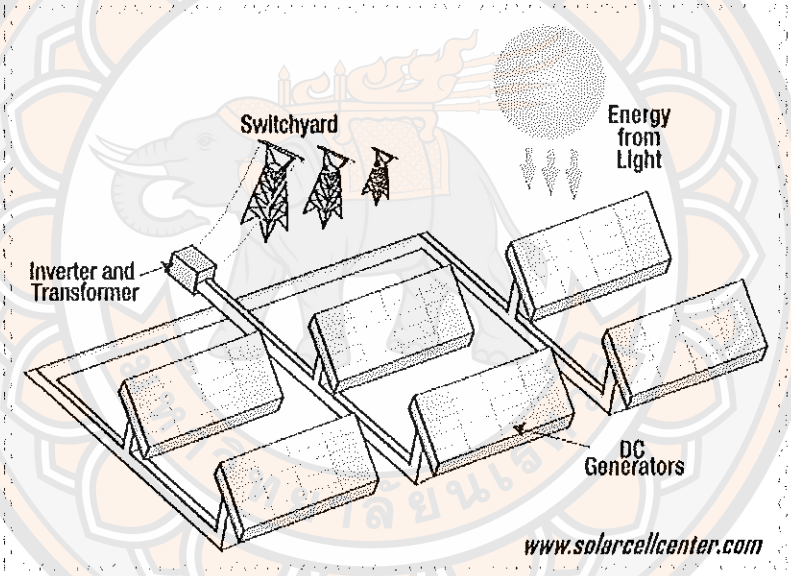
ที่มา: http://www.fao.org/sustainable-food-value-chains/library/details/en/c/266040/

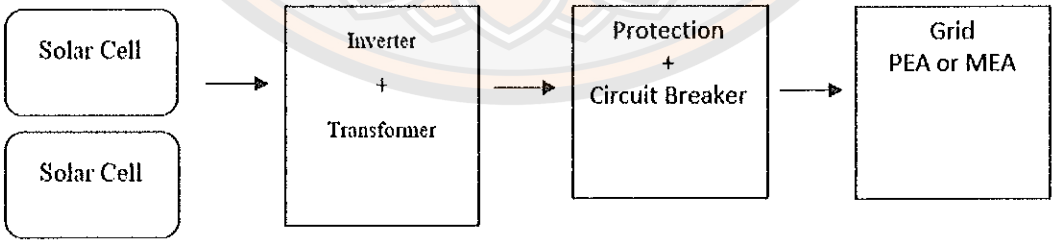
7. การลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์

เมื่อทราบถึงสาเหตุสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและได้แนวทางที่เหมาะสมในการลดการปลดปล่อยแล้วให้วางแผนเตรียมบุคลากรและดำเนินการตามแนวทางต่างๆ เพื่อลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

โซล่าฟาร์ม (Solar Farm)

โซลาร์ฟาร์ม คือ โรงผลิตไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานต้น และใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความคงทนอายุยาวนานในการผลิตไฟฟ้าจะได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) จากนั้นนำแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มาต่อกันทั้งแบบอนุกรม (Serie Cell) เพื่อเพิ่มแรงดัน(Voltage) และแบบขนาน (Parallel Cell) เพื่อเพิ่มกระแส(Current) เพื่อให้มีแรงดันเพียงพอต่อการทำงานของ Inverter (เครื่องผกผันกระแสไฟฟ้า) และ Step Up Transformer (หม้อแปลงเพิ่มแรงดัน) เพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้เข้าสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าภูมิภาค(PEA)หรือการไฟฟ้านครหลวง(MEA)ต่อไป โดยกำลังการผลิตของกระแสไฟฟ้าจะขึ้นตรงกับกระแสไฟฟ้า





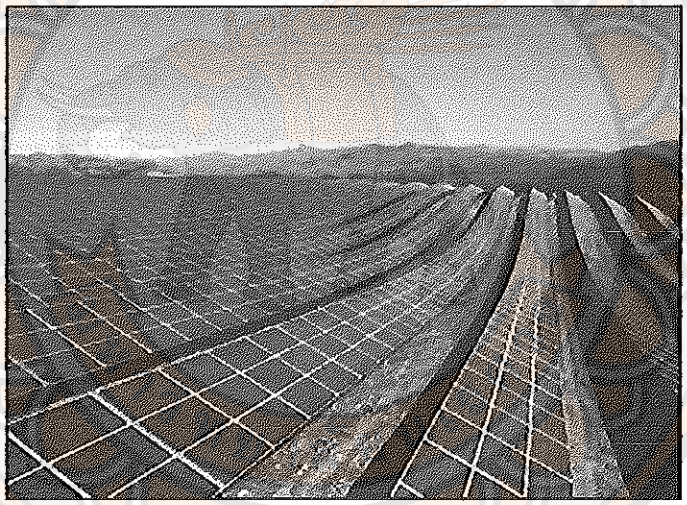
ภาพ 7 แผนผังกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโซล่าฟาร์ม (Flowchart of processing)

ที่มา: http://www.fao.org/sustainable-food-value-chains/library/details/en/c/266040/

องค์ประกอบและอุปกรณ์ในระบบโซล่าฟาร์ม

1. เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)หรือ Photovoltaic (PV) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็คทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการใช้สารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์เมื่อแสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน



ภาพ 8 เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

ที่มา: http://energy.go.th/2015/

ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

1.1 กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนจะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็น รูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึก ซึ่งแบ่งออกเป็น2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar

Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystal) | แบบผลึกรวม (Poly Crystal) | แบบอะมอร์ฟัส (Amorphous)

ภาพ 9 แบบผลึกของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: http://energy.go.th/2015/

1.2 กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ยกตัวอย่าง เช่น แกลเลียมอาเซไนด์ CIS และ แคดเมียมเทลเลอไรด์ แต่ยังมีราคาสูง และบางชนิดยังไม่มีการพิสูจน์เรื่องอายุการใช้งานว่าสามารถใช้งานได้นาน โดยสารประเภทนี้ จะสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ ปัจจุบันมีการพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่ทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้น

ขั้นตอนการผลิตสารซิลิกอนให้บริสุทธิ์ มีขั้นตอนดังนี้

1. การผลิต MG-Si จากหินควอทไซต์หรือทราย

   SiO2+ 2C ----> Si + 2CO (ปฏิกิริยาภายในเตาหลอม)

   ความบริสุทธิของ Si 98 - 99%

2. การผลิต SeG-Si จาก MG-Si

   2.1 เปลี่ยนสถานะ Si เป็นแก๊ส โดยวิธี Fractional Distillation

   Si + 3 HCl -------> SiHCl3+ H2

2.2 SiHCl3 ทำปฏิกริยากับ H2 ได้ Si บริสุทธิ์ 99.99%

SiHCl3 + H2 -------> Si + HCl

เป็นการทำ Si ให้บริสุทธิ์ ขั้นตอนนี้ได้ Polycrystal

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) หรือ Mono-Crystalline

การเตรียมสารซิลิคอน เริ่มต้นโดยการนำสารซิลิคอนซึ่งผ่านการทำให้เป็นก้อนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (99.99%) มาหลอมละลายในเตา Induction Furnace ที่อุณหภูมิประมาณ 1,500 องศาเซลเซียส เพื่อทำการสร้างแท่งผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ ใส่สารเจือปน Boron เพื่อทำให้เกิดเป็นสาร P-type แล้วทำให้เกิดการเย็นตัวจับตัวกันเป็นผลึกด้วย Seed ซึ่งจะตกผลึกมีขนาดหน้าตัดใหญ่ แล้วค่อยๆ ดึงแท่งผลึกนี้ขึ้นจากเตาหลอม ด้วยเทคโนโลยีการดึงผลึก จะได้แท่งผลึกยาวเป็นรูปทรงกระบอก จากนั้นนำแท่งผลึกมาตัดให้เป็นแผ่นบาง ๆ ด้วยลวดตัดเพชร (Wire Cut) เรียกว่า เวเฟอร์ และขัดความเรียบของผิว จาก นั้นก็จะนำไปเจือสารที่จำเป็นในการทำให้เกิดเป็นสาร p-n junction ขึ้นบนแผ่นเวเฟอร์ ด้วยวิธีการ Diffusion ที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปทำขั้วไฟฟ้าเพื่อนำกระแสไฟออกใช้ ที่ผิวบนจะเป็นขั้วลบ ส่วนผิวล่างเป็นขั้วบวก ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการเคลือบฟิลม์ผิวหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงให้น้อยที่สุด จะได้เซลล์ที่พร้อมใช้งานโดยนำไปประกอบเข้าแผงโดยใช้กระจกเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์ และใช้ซิลิโคนและอีวีเอ (Ethelele Vinyl Acetate) เพื่อช่วยป้องกันความชื้น

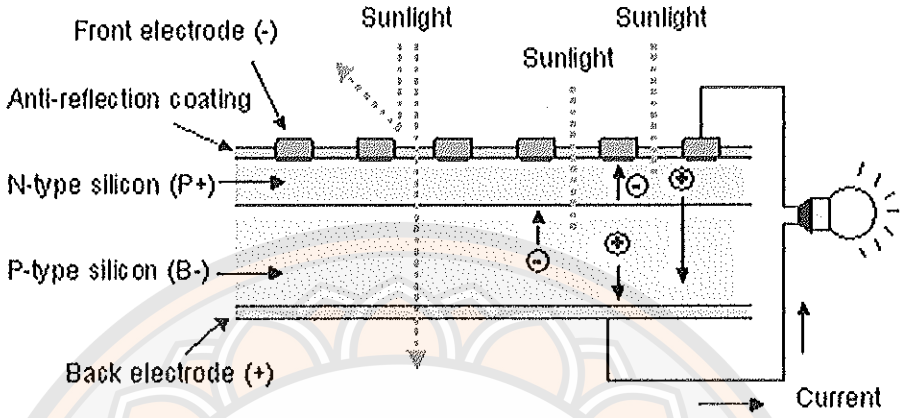
การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกรวม (Poly Crystalline)

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีนี้ จะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าวิธีแรก คือการทำแผ่นเซลล์จะใช้วิธีการหลอมสารซิลิคอนให้ละลาย ใส่สารเจือปน Boron เพื่อทำให้เกิดเป็นสาร P-type แล้วเทลงในแบบพิมพ์ เมื่อสารละลายซิลิคอนแข็งตัวก็จะได้เป็นแท่งซิลิคอนแบบผลึกรวม (ตกผลึกไม่พร้อมกัน) จากนั้นนำไปตัดเป็นแผ่นเช่นเดียวกับแบบผลึกเดี่ยว ความแตกต่างระหว่างแบบผลึกเดี่ยวและแบบผลึกรวมสังเกตได้จากผิวผลึก ถ้ามีโทนสีที่แตกต่างกันซึ่งเกิดจากผลึกเล็กหลายผลึกในแผ่นเซลล์จะเป็นแบบผลึกรวม ในขณะที่แบบผลึกเดี่ยวจะเห็นเป็นผลึกเนื้อเดียว คือ มีสีเดียวตลอดทั้งแผ่น ส่วนกรรมวิธีการผลิตเซลล์ที่เหลือจะเหมือนกัน เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly Crystalline) จะให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบผลึกเดี่ยว ประมาณ 2-3 %

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการ

ถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเลคตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าไปใช้งาน



ภาพ 10 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: http://www.egat.co.th/

สารประเภท n - type ซิลิคอน ที่อยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ สารประเภท p - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น " เซลล์แสงอาทิตย์ " ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p-type

อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Elec trode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน

คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสงหมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์จะไม่แปรไปตามความเข้มของแสง ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1000 W ต่อ ตร.ม. ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) ในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2. อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศา C สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

3. เครื่องผกผันกระแสไฟฟ้า (Inverter)

การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเครื่องผกผันกระแสไฟฟ้านิยมเรียกกันว่าอินเวอร์เตอร์ (Inverter) สามารถเปลี่ยนแปลงและควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับได้ นอกจากนี้อินเวอร์เตอร์ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้ดังนี้

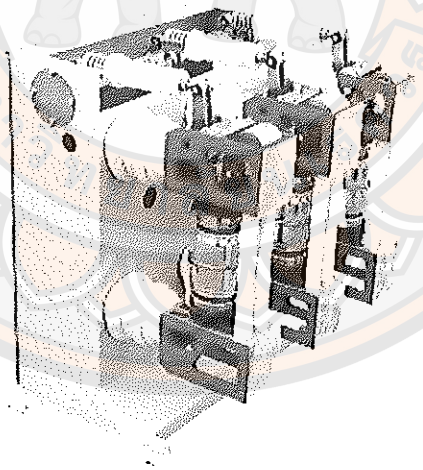
3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสำรอง เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลักเกิดขัดข้องขึ้น ที่เรียกกันว่า Stand-by Power supplies หรือ Uninteruptible Power Supplies โดยเรียกย่อๆ ว่า UPS ใช้เป็นระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับอุปกรณ์ที่สำคัญๆ เช่น คอมพิวเตอร์ เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลักเกิดขัดข้อง Transfer Switch จะต่ออุปกรณ์เข้ากับอินเวอร์เตอร์

จ่ายไฟกระแสสลับให้แทน โดยแปลงจากแบตเตอรี่ซึ่งประจุไว้ ขณะที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลัก

3.2 ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับ โดยการเปลี่ยนความถี่ เมื่อความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับเปลี่ยนแปลง ความเร็วของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามสมการ N=120f/N โดยที่ N = ความเร็วรอบต่อนาที, f = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อวินาที และ P = จำนวนขั้วของมอเตอร์

3.3 ใช้แปลงไฟฟ้าจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงชนิดกระแสตรง ให้เป็นชนิดกระแสสลับ เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อไป

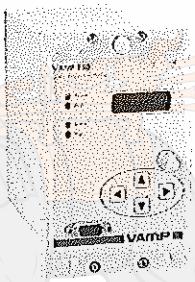
4. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) เป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินและป้องกันการลัดวงจรเช่นเดียวกับฟิวส์ เซอร์กิตเบรกเกอร์นี้จะทำงานด้วยกลไกการตัดวงจรโดยอัตโนมัติ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ กลไกการตัดวงจรก็จะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรออกจากระบบโดยอัตโนมัติ ส่วนการสับซ้ำอาจบังคับด้วยมือ (Manual operated) หรือสับซ้ำโดยอัตโนมัติด้วยรีเลย์ชนิดสับซ้ำ (Re-closing relay) โดยการทำงานแบบอัตโนมัตินั้น เกิดจากการสั่งการจากอุปกรณ์ป้องกันที่เรียกว่า Relay



ภาพ 11 Circuit Breaker

ที่มา: www.pea.co.th

5. รีเลย์ป้องกัน ในขณะที่ระบบไฟฟ้าเกิดฟอลต์ (Fault) ขึ้น จำเป็นต้องตัดวงจรไฟฟ้าออกจากระบบด้วยความเร็วสูง ทั้งนี้เพื่อลดอันตรายและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์ป้องกัน พร้อมทั้งค้นหาสภาพผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบ เพื่อสั่งการให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรด้วยความเร็วสูงโดยอัตโนมัติ เราเรียกอุปกรณ์ควบคุมการป้องกันนี้ว่า รีเลย์ป้องกัน (Protection Relay)อุปกรณ์รีเลย์ป้องกันนี้ทำงานแบบระบบอัตโนมัติเท่านั้น เป็นการทำงานคล้ายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ในตัว ทำการเฝ้ามอง(Monitor) ค่าทางไฟฟ้าต่างๆตามการทำงานของ function ในรีเลย์แต่ละรุ่น และสามารถสั่งคำสั่งอัตโนมัติ (Command) ให้ Circuit Breaker ตัดวงจรเมื่อเกิดฟอตต์ขึ้น



ภาพ 12 อุปกรณ์ป้องกันรีเลย์

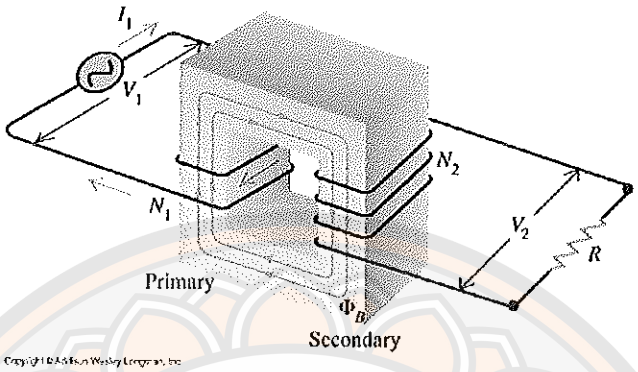
ที่มา: www.pea.co.th

6. หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงแรงดัน (Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้า คืออุปกรณ์ที่ใช้แปลงแรงดันไฟฟ้าสลับ ให้มีขนาดแรงดันตามที่เราต้องการ เรานำหม้อแปลงไฟฟ้าไปใช้ในงานหลายด้าน ทั้งในระบบการจ่ายไฟฟ้า หรือเป็นอุปกรณ์ประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆที่ใช้กันตามบ้านเรือน ไม่ว่าจะเป็น โทรทัศน์ เครื่องขยายเสียง วิทยุเทป แปลงไฟเพื่อใช้ในงานต่างๆ จึงนับว่ามีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับงานทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์อย่างมาก

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น อาศัยหลักการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเส้นแรงแม่เหล็กในการสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำให้กับตัวนำ คือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดตัวนำ ก็จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบๆตัวนำนั้น และถ้ากระแสที่ป้อนมีขนาดและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปมา ก็จะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้า

สนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวตัดผ่านตัวนำ ก็จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำนั้น โดยขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจะสัมพันธ์กับ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก และความเร็วในการตัดผ่านตัวนำของสนามแม่เหล็ก



ภาพ 13 Transformer

ที่มา: www.pea.co.th

7. ระบบสายส่ง (Transmission Line)

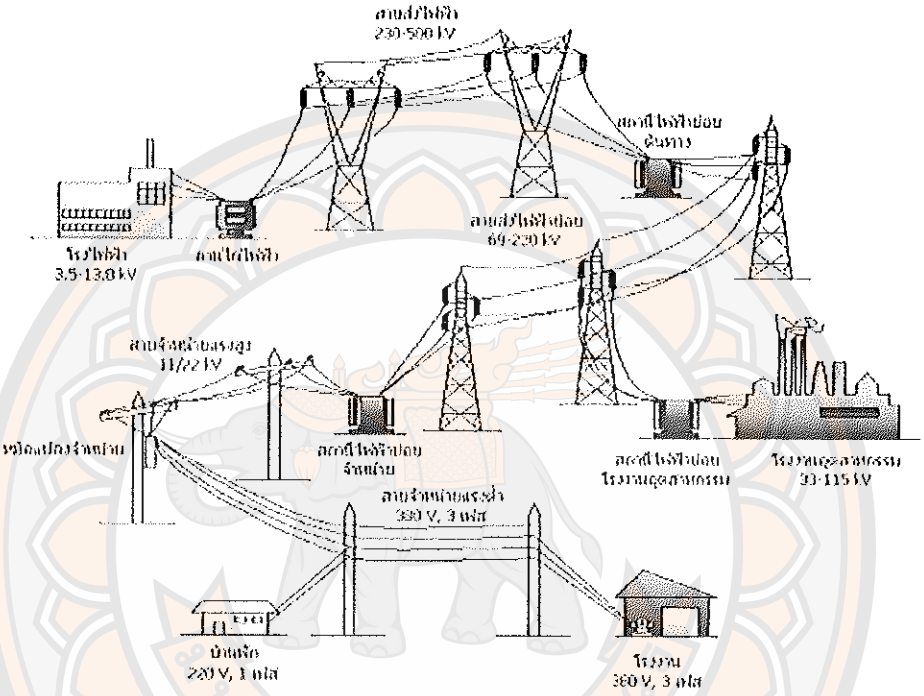
สายส่งหรือGrid เป็นอุปกรณ์ประเภทตัวนำทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าไปสู่ปลายทาง สายส่งไฟฟ้าแรงสูง เป็นระบบสายส่งไฟฟ้าที่มีความสำคัญมากและมีราคาแพง สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของการเดินสายไฟฟ้าและลักษณะของสายตัวนำไฟฟ้า ดังนี้

7.1 สายส่งกลางอากาศ (Overhead Transmission Line) เป็นการเดินสายส่งไฟฟ้าโดยการแขวนอยู่บนเสาไฟฟ้า ซึ่งมักจะเห็นอยู่ทั่วไป เพราะว่าเป็นแบบที่มีการลงทุนน้อยที่สุดในสามชนิด แต่อาจดูไม่ค่อยเรียบร้อย (Visual Impact) เพราะมีการขึงสายต่างๆ บนเสาจนบางครั้งอาจรกรุงรังไร้ระเบียบจนเป็นที่อุจาดตา

7.2 สายส่งไฟฟ้าใต้ดิน (Underground Cable) เป็นการเดินสายส่งไฟฟ้าในอุโมงค์หรือรางเดินสายไฟฟ้าใต้ดิน ในเมืองใหญ่หลายแห่งอาจไม่เห็นเสาไฟฟ้าและสายไฟรกรุงรังตามสองข้างถนน เพราะว่ามีการเดินสายเคเบิลลงใต้ดินเพื่อความเป็นระเบียบเรียบร้อย สายส่งไฟฟ้าใต้ดินต้องใช้เงินลงทุนสูง แต่บางพื้นที่ของกรุงเทพฯ ในเขตของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ก็มีการเดินสายไฟฟ้าใต้ดินซึ่งทำให้พื้นที่นั้นดูเรียบร้อยขึ้น

7.3 สายส่งไฟฟ้าในท่ออัดก๊าซ (Gas Insulated Line, GIL) ปัจจุบันได้มีการเดินสายส่งไฟฟ้าแบบในท่ออัดก๊าซ ลักษณะเป็นท่อโลหะกลม ซึ่งสามารถวางท่อได้ทั้งกลาง

อากาศ บนพื้นดินหรือลงใต้ดิน สายส่งไฟฟ้าแบบในท่ออัดก๊าซมีความน่าเชื่อถือในการจ่ายไฟฟ้าดีกว่าสายส่งไฟฟ้าแบบกลางอากาศหรือแบบใต้ดิน มีความปลอดภัยสูงและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำกว่าสายส่งทั้งสองชนิดที่กล่าวมาข้างต้น แต่ต้องใช้เงินลงทุนด้านอุปกรณ์และค่าก่อสร้างสูงมาก



ภาพ 14 ระบบสายส่ง

ที่มา: www.pea.co.th

ข้อดีของโซล่าฟาร์ม

1. สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้

2. เป็นการลงทุนเพียงครั้งเดียว ไม่ใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต (ใช้พลังงานแสง) มีอายุการใช้งานได้นาน (20-25 ปี)

3. ระบบการผลิตไม่มีความซับซ้อนมากนัก ดูแลรักษาง่าย

ข้อเสียของโซล่าฟาร์ม

1. ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำ

2. ใช้พื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์เซลล์แสงอาทิตย์มาก (12-15 ไร่/ระบบการผลิต 1MW)

3. ต้องใช้เงินลงทุนสูง

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวมวล (Biomass Gas)

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นต้น การใช้ชีวมวลให้เป็นต้นพลังงาน ทำได้จากการนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า เพื่อทดแทนพลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมัน) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ชีวมวลมีแหล่งที่มาต่างกัน เช่น พืชผลทางการเกษตร (Agricultural Crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร (Agricultural Residues) ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood residues) หรือของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน ตัวอย่างเช่นแกลบ เกิดจากการสีข้าวเปลือก,ชานอ้อย เกิดจากการผลิตน้ำตาลทราย,เศษไม้ เกิดจากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่,กากปาล์ม กากมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด เกิดจากเศษของกระบวนการผลิตต่างๆ เป็นต้น

พลังงานชีวมวล (Bio-energy) หมายถึง พลังงานที่ได้จากชีวมวลชนิดต่างๆ โดยกระบวนการแปรรูปจากการใช้ชีวมวลไปเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ สามารถแบ่งเป็นกระบวนการแปรรูปชีวมาลไปเป็นพลังงานได้ 4 ประเภทดังนี้

1. การเผาไหม้โดยตรง (Combustion) เมื่อนำชีวมวลมาเผา จะได้ความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวล ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือ เศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้

ทฤษฎีการเผาไหม้ (Combustion theorem)

[C + H (fuel)] + [O2 + N2 (Air)] -> (Combustion Process) -> [CO2 + H2O + N2 (Heat)]

2. การผลิตก๊าซ (Gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงเรียกว่าก๊าซชีวภาพ (biogas) มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถนำไปใช้กับกังหันก๊าซ (gas turbine) หรือเครื่องกำลังเนิดพลังงานไฟฟ้า (Generator) ดังจะกล่าวรายละเอียดในส่วนต่อไป

3. การหมัก (Fermentation) เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัว เกิดก๊าซชีวภาพ (Biogas) ที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า ในกระบวนการหมักต้องอาศัยจุลินทรีย์ เพื่อให้จุลินทรีย์ผลิตสารเคมีบางชนิด หรือเพิ่มจำนวนเซลล์มากๆ ดังนั้นต้องมีการศึกษาธรรมชาติของเซลล์จุลินทรีย์ การเจริญเติบโตของเซลล์ (Growth) กระบวนการสังเคราะห์ทั้งหมดเป็นปฏิกิริยาชีวเคมี ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทำงานของเอนไซม์ต้องมีสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรดเบส และจุลินทรย์ต้องอาศัยพลังงานเพื่อให้ปฏิกิริยาต่างๆ เกิดขึ้นได้ ดังนั้นในกระบวนการหมักจึงจำเป็นต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้เหมาะสมต่อจุลินทรีย์นั้นๆ ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีดังนี้

พลังงาน

พลังงานที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโตมาจากพลังงานแสงและพลังงานจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบในอาหาร จุลินทรีย์พวกที่ใช้แสงได้ เช่น สาหร่าย (Algae) และแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic bacteria) โดยอาศัยรงควัตถุ (pigments) จึงสามารถดึงพลังงานแสงเพื่อใช้ในการสังเคราะห์โมเลกุลสารประกอบต่างๆ ส่วนแบคทีเรียบางชนิดจะใช้พลังงานจากการออกซิไดซ์สารอนินทรีย์ เช่นยีสต์ ไม่สามารถออกซิไดซ์สารอนินทรีย์จึงจำเป็นต้องออกซิไดซ์จากสารอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไลปิด โปรตีน และไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น พลังงานที่ได้จะสะสมอยู่ในรูปของโมเลกุล ATP และสามรถนำไปใช้สังเคราะห์โมเลกุลและเซลล์ใหม่ต่อไป

อาหาร

เป็นแหล่งวัตถุดิบที่จุลินทรีย์นำไปใช้สร้างเซลล์ อาหารจึงประกอบด้วยธาตุต่างๆ ในปริมาณที่สอดคล้องกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และแร่ธาตุอื่นๆ โดยทั่วไปธาตุไฮโดรเจนมีอยู่ในสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเกือบทุกชนิด ออกซิเจนก็เช่นเดียวกัน นอกจากนี้จุลินทรีย์สามารถใช้ออกซิเจนจากอากาศที่ละลายในสารละลายได้อีกด้วย แหล่งคาร์บอนควรเป็นโมเลกุลสารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ง่าย เช่น กลูโคส ฟรุคโตส ซึ่งปกติเป็นสารที่อยู่ในเมแทบอลิซึม นอกจากนี้ยังมีสารประกอบคาร์บอนอื่นๆ เช่น แป้ง น้ำมัน เป็นต้น สำหรับแหล่งไนโตรเจนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่สามารถใช้ในรูปแอมโมเนีย หรือเกลือแอมโมเนีย หรือในรูปสารอินทรีย์เช่น กรดอะมิโน โปรตีน ยูเรีย หรือสารสกัดจากยีสต์ เนื้อวัว ปลา ถั่วลิสง เป็นต้น แหล่งแร่ธาตุจำเป็นที่ต้องการมาก ได้แก่ ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม ซัลเฟอร์ แมกนีเซียม โซเดียม แคลเซียม และคลอรีน ส่วนแร่ธาตุที่ต้องการในปริมาณน้อยได้แก่ โคบอลต์ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส โมลิบดีนัม และสังกะสี

นอกจากนี้ในอาหารควรมีโคเอนไซม์และสารกระตุ้นการเจริญที่จำเป็นได้แก่พวก วิตามิน ต่างๆ เช่น Biotin, Calcium pantothenate, Thiamine เป็นต้น

อุณหภูมิ

ปฏิกิริยาชีวเคมีของเอนไซม์ในจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความทนทานต่ออุณหภูมิไม่เท่ากัน จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาธรรมชาติของจุนลินทรย์ที่ใช้งาน

ความเป็นกรดเบส เช่นเดียวกันกับอุณหภูมิ จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีช่วงการเร่งปฏิกิริยาภายใต้สภาวะ pH ที่เหมาะสมต่างกัน

4. การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช มีกระบวนการที่ใช้ผลิตดังนี้

4.1 กระบวนการทางชีวภาพ ทำการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์เบนซิน

4.2 กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี โดยสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการ Transesterification เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

4.3 กระบวนการใช้ความร้อนสูง เช่นกระบวนการไพโรไลซิส เมื่อวัสดุทางการเกษตรได้ความร้อนสูงในสภาพไร้ออกซิเจน จะเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวและก๊าซผสมกัน

Gasification ดังกล่าวข้างต้นเป็นการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง เช่น ชีวมวล หรือ กากอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งจะทำให้ได้ ก๊าซร้อน ที่ยังสามารถนำไปสันดาปต่อได้ โดยจะประกอบด้วย Carbon monoxide (CO), Hydrogen (H_2), Methane (CH_4), ซึ่งก๊าซเหล่านี้สันดาปแล้วจะได้พลังงานความร้อนอีกครั้งซึ่งเป็นการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ได้ผลผลิตเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิง(จุดติดไฟได้) เรียกก๊าซดังกล่าวว่า Biomass gas หรือ Synthesis gas (Syngas) เชื้อเพลิงสำหรับ Gasification สามารถใช้ได้หลากหลายเช่น ชีวมวลที่มีในท้องถิ่น จำพวกกากอุตสาหกรรม (ดังที่ยกตัวอย่างไว้ข้างต้น) หรือ ถ่านหิน และลิกไนท์

กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวมวล (Gasification Process)

กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification Process) คือ การเปลี่ยนรูป พลังงานจากชีวมวลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซ โดยให้ความร้อนผ่าน ตัวกลางของกระบวนการ เช่นอากาศ หรือไอน้ำ ในกระบวนการ Gasification จะมี ความแตกต่างจากกระบวนการ Combustion อย่างสิ้นเชิงโดย Combustion เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นอย่างสมบูรณ์ในหนึ่งกระบวนการ แต่สำหรับ กระบวนการ Gasification เป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีภายในของคาร์บอนในชีวมวล ไปเป็นก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible Gas) โดยอาศัยปฏิกิริยา 2 กระบวนการ โดยก๊าซที่ผลิตได้จะมีคุณภาพที่ดีกว่าและง่ายต่อการใช้งานกว่าชีวมวล

สรุปได้ว่าการผลิตแก๊ซชีวมวล เป็นกระบวนการเผาไหม้ชีวมวลโดยจำกัด อากาศที่เข้าทำปฏิกิริยาการสันดาป ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นก๊าซเชื้อเพลิง Synthesis gas (Syngas)เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และ ไฮโดรเจน ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม หรือนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงใน เครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวมวลนี้เป็นระบบขนาดเล็ก เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าในชุมชน การเปลี่ยนสถานะของเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นก๊าซด้วยกระบวนการความร้อนภายในเตาเผา โดยภายในเตาเผาจะเกิดกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงประกอบด้วยกระบวนการย่อยแยกเป็น 4 กระบวนการ ดังนี้

1. กระบวนการอบแห้ง(Drying Process) เป็นขั้นตอนแรกของการ ผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวลที่เริ่มจุดไฟที่ เตาเผา อุณหภูมิในเขตนี้ประมาณ 100-135 องซาเซลเซียส ความชื้นของชีวมวลจะถูกระเหยออกไปเป็นส่วนใหญ่

ชีวมวล + ความร้อน -->ชีวมวลแห้ง +น้ำ

2. การกลั่นสลาย (Pyrolysis) อุณหภูมิในเขตนี้จะอยู่ในระหว่าง 450-600 องศาเซลเซียสโครงสร้างของเชื้อเพลิงจะถูกสลายโดยความร้อนได้ผลผลิตที่เป็นสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นของเหลวเช่นน้ำมันดิน

ชีวมวล + ความร้อน --> ถ่าน + CO + CO_2 + H_2O+ CH_4+ C_2H_6+ pyroligneous +น้ำมันดิน

3. การเผาไหม้ (Combustion Zone) หรือโซนออกซิเดชั่น (Oxidation zone) อากาศจะถูกส่งผ่านเข้ามาในบริเวณนี้อุณหภูมิในเขตนี้ประมาณ 900-1200 องซาเซลเซียส ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$$

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

4. รีดัคชั่น (Reduction Zone) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตนี้อุณหภูมิในเขตนี้ประมาณ 600-700 องซาเซลเซียสเกิดเป็น Syngasได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)ไฮโดรเจน (H_2) และมีเทน (CH_4)

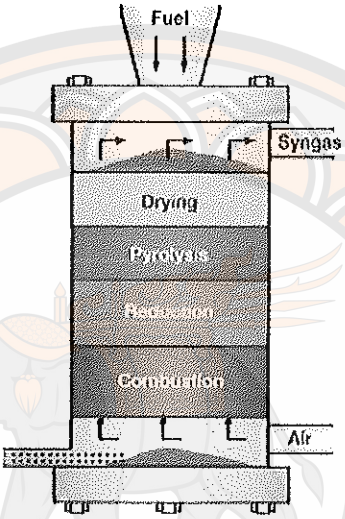
$$C + CO_2 \text{ -->} 2CO$$

$$C + H_2O \text{ --> } CO + H_2$$

$$C + 2H_2O \text{ --> } CO_2 + 2H_2$$

$$CO + H_2O \text{ --> } CO_2 + H_2$$

$$C + 2H_2 \text{ --> } CH_4$$



ภาพ 15 กระบวนการผลิตการเผาไหม้เชื้อเพลิง

ที่มา: www.pea.co.th

ชนิดของเตาเผาเชื้อเพลิง (Type of Gasifier)

ชนิดของเตาเผาเชื้อเพลิง Gasification Warnecke ได้ทำการจำแนกชนิดของเตาเผาเชื้อเพลิง Gasification แบ่งเป็น 4 ประเภทตามการเคลื่อนที่ของของแข็งภายในตัวเผาเชื้อเพลิง Gasification ดังนี้

1. Quasi non-moving or self-moving feedstock
2. Mechanically-moved feedstock
   - 2.1 Downdraft gasifier
   - 2.2 Updraft gasifier
   - 2.3 Cross-draft gasifer

3. Fluidcally-moved feedstock

3.1 Bubbling-bed (BB) gasifier

3.2 Circulating fluidized bed (CFB) gasifier

3.3 Entrained-bed gasifier

4. Special reactors

4.1 Spouted bed gasifier

4.2 Cyclone gasifier

จากการแบ่งประเภทของเตาเผาเชื้อเพลิง Gasifier ทั้ง 4 ประเภท พบว่าGasifier แบบ downdraft, updraft และ CFB เป็นเตาเผาที่มีการศึกษากันอย่างมากที่มีการขายในทางการค้าโดยเป็นเตาเผาแบบ downdraft gasifier 75% , Fluidized bed 20%, updraft 2.5% และแบบอื่นๆ อีก 2.5% ผู้จัดทำจึงเน้นศึกษาเฉพาะ Gasifier ที่ใช้ใช้ปัจจุบันแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. Gasifier แบบเปลวไฟไหลขึ้น (Updraft Gasifier) หรือ Counter Current Gasifier เป็นชนิดเริ่มแรกและเป็นแบบที่ง่ายที่สุด มีเชื้อเพลิงชีวมวลจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของ Gasifier อากาศจะถูกดูดผ่านตะแกรงเข้ามาทางด้านล่างเมื่ออากาศผ่านเข้าไปในโซนการเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาได้ CO2 และ H2O ก๊าซที่ผ่านออกจากโซนการเผาไหม้จะมีอุณหภูมิสูงและเมื่อเข้าไปในโซนรีดักชั่น CO2 ไอน้ำจะทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนที่มีได้ CO และ H2 ก๊าซที่ได้จะไหลเข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำากว่าและเกิดการกลั่นสลายในช่วงอุณหภูมิ 200-500 องซาเซลเซียสจากนั้นก๊าซที่ยังคงมีอุณหภูมิสูงจะไหลเข้าสู่ชั้นชีวมวลชื้นไประเหยน้ำที่อยู่ในชีวมวลทำให้ Syngas ที่ได้มีอุณหภูมิที่ต่ำลง

Updraft Gasifier นี้มีหลักการทำงานไม่สลับซับซ้อน สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้มากและ Syngas ที่ได้มีอุณหภูมิไม่สูงมาก แต่ Syngas จะมีคุณภาพต่ำเนื่องจากมีน้ำมันดินและเขม่าปะปนออกมาเป็นจำนวนมาก

2. Gasifier แบบเปลวไฟไหลลง (Downdraft Gasifier) หรือ Co-Current Gasifier Gasifier แบบนี้ออกแบบมาเพื่อแก้ไขปัญหาน้ำ มันดินSyngas ที่เกิดขึ้นซึ่งพบมากในพบมากใน Updraft Gasifier ลักษณะการทำงานของ Downdraft Gasifier คืออากาศจะถูกดูดผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่างโดยผ่านหัวฉีด (Nozzle) บริเวณหัวฉีดจะเป็นบริเวณโซนการเผาไหม้ โดยก๊าซที่ได้จากโซนการเผาไหม้จะถูกรีดิวซ์ (Reduce) ในขณะที่ไหลลงสู่ด้านล่างจะผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อนอยู่เหนือตะแกรง ในขณะเดียวกันชั้นของชีวมวลที่อยู่ด้านบนของโซนการเผาไหมจะเกิดการ

กลั่นสลายและจะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อน ทำให้น้ำมันดินเกิดการแตกตัวเป็นก๊าซขึ้นโดย Syngas ที่ได้จาก Downdraft Gasifier จะมีส่วนประกอบของน้ำมันดินน้อยกว่า 10% ของน้ำมันดินที่ได้จาก Updraft Gasifier จึงสรุปได้ว่า Syngas ที่ได้จาก Downdraft Gasifier มีประสิทธิภาพดีกว่าและสะอาดกว่า

3. Gasifier แบบเปลวไฟไหลขวาง (Crossdraft Gasifier) Gasifier แบบนี้มีลักษณะการทำงานที่อากาศจะถูกดูดผ่านหัวฉีดที่อยู่ในแนวราบ โดยโซนการเผาไหมจะอยู่ถัดจากหัวฉีดออกไปและถัดออกไปอีกจะเป็นโซนรีดักชั่น ก๊าซที่ออกจากโซนรีดักชั่น จะออกสู่ภายนอกโดยผ่านตะแกรงโดยวางอยู่ในแนวตั้งรอบๆโซนการเผาไหม้และโซนรีดักชั่น จะเป็นบริเวณโซนการกลั่นสลาย น้ำมันและน้ำมันดิบที่ได้จากโซนการกลั่นสลายนี้จะผ่านดซนรีดักชั่นก่อนจะออกสู่ภายนอก ทำให้น้ำมันดินและน้ำมันดิบแตกตัวเป็นก๊าซ ส่งผลให้ Syngas ที่ได้มีปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันดินลดลง

Gasifier ทั้ง 3 แบบข้างต้นจะมีการทำงานขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของเชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก นอกจากจะเกิดน้ำมันดินปะปนแล้วยังเกิดขี้โลหะ (Slag) และมีปัญหาความดันตก (Pressure Drop) มากเมื่อ Syngasไหลผ่านระบบ

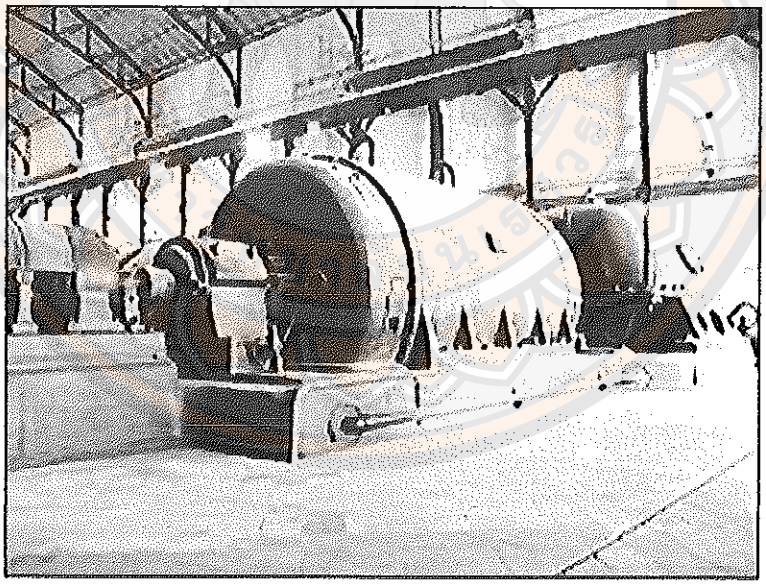
4. Gasifier แบบเบดไหลวน (Circulating Fluidized Bed) Gasifier แบบนี้สามารถทำงานโดยรองรับชีวมวลในปริมาณมากๆได้ดี เช่นในอุตสาหกรรมกระดาษโดยเบดจะถูกหมุนอยู่ในห้องเผาไหม้ (Reaction Vessel) และอุปกรณ์แยกตัวแบบไซโคลน (Cyclone Separator) ซึ่งในไซโคลนจะเป็นส่วนที่ใช้ในการแยกขี้เถ้าออกทางด้านล่างส่วนถ่านจะแยกเข้าไปในห้องเผาไหม้อีกครั้ง Gasifier นี้สามารถทำงานภายใต้ความดันสูงๆได้

ระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิง และเมื่อเพิ่มค่าความเร็วของอากาศถึงค่าหนึ่งเชื้อเพลิงที่วางอยู่จะลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายของไหล ในตอนเริ่มติดเตานั้นเบดจะได้รับความร้อนจากภายนอกจนอุณหภูมิถึงจุดติดไฟของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าไปอย่างสม่ำเสมอ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นทั่วบริเวณเตา โดยปกติจะใส่สารเฉื่อย (Inert Material) เช่น ทราย หรือ สารที่ทำปฏิกิริยา (Reaction Material) เช่น หินปูน (Limestone) หรือตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะช่วยในด้านการถ่ายเทความร้อนและช่วยทำความสะอาดภายในเตาระบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้ระบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้ได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถใช้กับเชื้อเพลิงแข็งได้ทุกชนิด เพราะอุณหภูมิภายในเตาจะมีค่าใกล้เคียงตลอดทั่วเตาเผา ทำให้อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงสม่ำเสมอ สามารถเผาเชื้อเพลิงที่มีปริมาณความชื้นสูงได้ดีนอกจากนี้ยังทำให้อุณหภูมิของเปลวไฟคงที่ข้อดีของระบบฟลูอิดไดซ์เบด คือมีสาร

เฉื่อย เช่น ทราย เป็นเบด จึงทำให้เกิดการผสมของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนได้ดี เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว นอกจากนี้ตัวเบดยังช่วยอมความร้อนทำให้เตามีความเสถียร ไม่ดับง่าย จึงช่วยแก้ปัญหาด้านมลพิษของอากาศเนื่องจากการเกิดสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์(ประมาณ 850 (NOx) ได้เป็นระบบเกี่ยวกับลมเกือบทั้งหมด (Pneumatic System) ไม่ค่อยมีระบบเครื่องกล (Mechanical System) ทำให้การควบคุมระบบทำได้ง่าย เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ในเตาระบบฟลูอิดไดซ์เบด ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้หมดสมบูรณ์ไม่เกิน 5 วินาทีซึ่งน้อยกว่าเวลาที่เชื้อเพลิงใช้อยู่ในเตาเผา จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์

5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

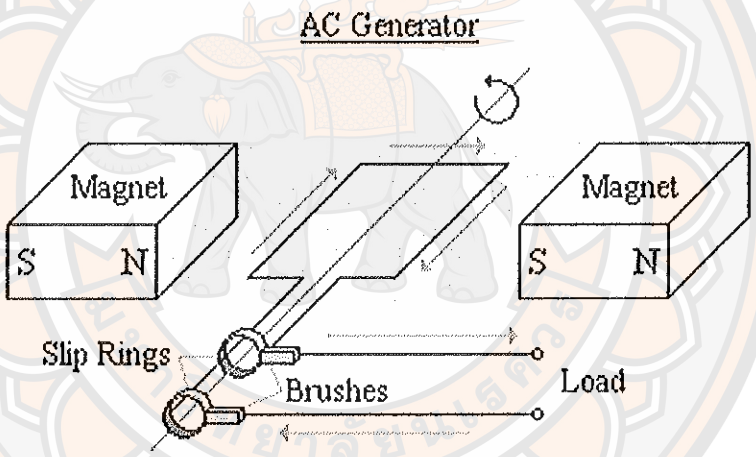
อุปกรณ์ที่แปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ดังกล่าวจะบังคับกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านวงจรภายนอก แหล่งที่มาของพลังงานกลอาจจะเป็นลูกสูบหรือเครื่องยนต์กังหันไอน้ำ หรือแรงน้ำตกผ่านกังหันน้ำหรือล้อน้ำ หรือเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือกังหันลม หรือข้อเหวี่ยงมือ หรืออากาศอัด หรือแหล่งพลังงานกลอื่นๆ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าเกือบทั้งหมดให้กับ Grid พลังงานไฟฟ้า



ภาพ 16 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ Ganz รุ่นแรกใน Zwevegem, West Flanders, Belgium

ที่มา: www.pea.co.th

หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ เมื่อมีสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านขดลวด หรือขดลวดเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กจะเกิดไฟฟ้าออกมาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญสองส่วนคือ ส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็ก เรียกกว่าฟิลด์ (Field) และส่วนที่สร้างแรงดันไฟฟ้าเรียกว่าอาเมเจอร์ (Armature) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับฟิลด์และอาเมเจอร์สามารถเป็นได้ทั้งส่วนที่อยู่กับที่และส่วนที่หมุนโดยในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจะสามารถสร้างได้ทั้งแบบฟิลด์และอาเมเจอร์หมุน แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ าขนาดใหญ่จะสร้างได้แต่แบบอาเมเจอร์อยู่กับที่เท่านั้น เพราะจะมีปัญหาน้อยกว่าแรงดันที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยที่สำคัญสองตัวคือ ความเร็วรอบและเส้นแรงแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับการเพิ่มแรงดันโดยการเพิ่มความเร็วไม่สามารถที่จะทำได้เพราะจะทำให้ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง สามารถทำได้เพียงการปรับความเข้มของสนามแม่เหล็ก



ภาพ 17 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา: www.pea.co.th

หลักการทำงานของระบบ

ระบบผลิตก๊าซชีวมวลโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงเป็นตัวอย่างในการศึกษา ซึ่งเป็นลักษณะระบบผลิตก๊าซชีวมวลแบบ Three Stage Fluidized Bed Gasification โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอนคือการอบแห้งแกลบ (Drying) การกลั่นสลายชีวมวล (Pyrolysis) ซึ่งเป็นแบบ Fluidized Bed Pyrolysis และขั้นตอน Gasification ที่เป็นชนิดก๊าซไหลลง (Downdraft Gasification) ทั้งนี้ต้องการลดปริมาณน้ำมันดินในแกลบให้เหลือน้อยที่สุดและเพื่อการขยายกำลัง

การผลิตกระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยการนำก๊าซเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น(Syngas)ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลในลักษณะเชื้อเพลิงคู่ (Duel fuel) คือใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซเชื้อเพลิงจากแกลบเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

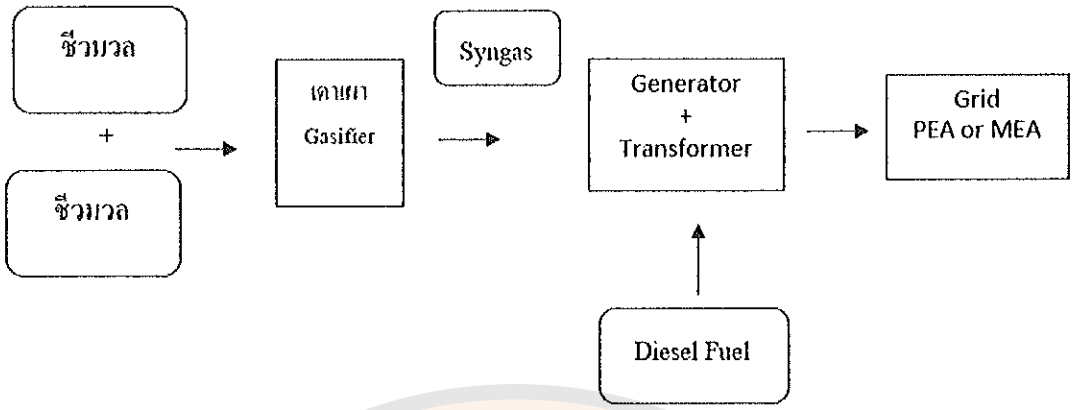
5.1 การอบแห้งแกลบ (Drying) ใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์อุ่นแกลบให้อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 100 องศาเซลเซียสเพื่อลดความชื้นในแกลบให้ต่ำลงและใช้พัดลม (Blower) เป่าแกลบให้ลอยตัวขึ้นไปเข้าสู่สกรูป้อนแกลบลงในห้อง Pyrolysis

5.2 Pyrolysis เป็นห้องที่มีทรายร้อนเพื่อให้ความร้อนกับแกลบและใช้ลมร้อนเป่าให้แกลบลอยตัวในลักษณะ Bubbling bed เพื่อให้สารระเหย (Volatile) แตกตัวออกจากเชื้อเพลิงซึ่งในห้องนี้มีอุณหภูมิประมาณ 450-600 องศาเซลเซียส

5.3 Partial Oxidation เป็นส่วนที่ถัดลงมากจาก Pyrolysis มีลักษณะคอคอด (Throat) มีการเติมอากาศร้อนที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนใต้เตาทาให้เกิด Partial Oxidation กับสารประกอบที่ระเหยและน้ำมันดินบางส่วนที่มาจาก Pyrolysis และเกิดการลุกไหม้ โดยในช่วงนี้จะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 850-1100 องศาเซลเซียส

5.4 Gasification เป็นการเผาในเตาแบบ Downdraft Gasifier แล้วทำให้เกิดก๊าซเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ (Producer gas) เพื่อนาไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

5.5 Gas Cooling and Cleaning ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะมีฝุ่นละอองและความชื้นปะปนมากับก๊าซด้วยดังนั้นจึงใช้ Cyclone และชุดทาความสะอาดก๊าซแบบเปียกด้วยน้ำ (Wet scrubber) และใช้ชุดกรองแห้งทำความสะอาดก๊าซอีกครั้งหนึ่ง (Bag house filter) และลดอุณหภูมิก๊าซให้ต่ำลงเหลือประมาณ 45 องศาเซลเซียสแล้วเข้าสู่เครื่องยนต์ดีเซลเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไป



ภาพ 18 การผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการ Gasification จากแกลบ

ที่มา: http://www.egat.co.th/

ข้อดี

1. การเผาไหม้สสารทุกชนิดจะเกิดก๊าซคาร์บบอนไดออกไซด์ซึ่งล่องลอยไปในอากาศและห่อหุ้มโลกไว้ เมื่อแสงอาทิตย์ส่องลงมายังโลก รังสีบางส่วนไม่สามารถสะท้อนกลับออกไปได้ ทำให้โลกร้อนขึ้น จึงเรียกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ว่าเป็นก๊าซเรือนกระจก (Green House Gas) แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาชีวมวลจะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้โดยพืชเพื่อสังเคราะห์แสง ดังนั้นการเผาชีวมวลไม่ถือว่าก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก (Carbon Offset)

2. การไม่นำชีวมวลมาใช้ โดยปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ เช่น มูลสัตว์ จะเกิดก๊าซมีเทนซึ่งถือว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งและมีอันตรายกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่า

3. ชีวมวลจะมีกำมะถันหรือซัลเฟอร์ไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการนำชีวมวลมาเผาไหม้ จะไม่สร้างปัญหาเรื่องฝนกรด (น้ำมันเตามีปริมาณกำมะถันประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถ่านหินมีปริมาณกำมะถันประมาณ 0.3-3.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน)

4. ขี้เถ้าของชีวมวลมีสภาพเป็นด่าง ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปเพาะปลูกหรือปรับสภาพดินที่เป็นกรด แต่ขี้เถ้าจากการเผาถ่านหินจะมีสารโลหะหนักปนอยู่ ดังนั้นต้องนำไปฝังกลบอย่างถูกวิธีเช่นมีผ้ายางรองรับด้านล่าง

5. ช่วยลดภาระในการกำจัดเช่น นำไปฝังกลบและเผาทิ้งเป็นต้น

6. ก่อให้เกิดการสร้างงานในท้องถิ่น ชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้น มีการประเมินว่าการนำชีวมวลในท้องถิ่นมาใช้ทำเงินหมุนเวียนในระบบเพิ่มขึ้นถึง 7 เท่าและรายได้ประชาชาติสูงขึ้น

กล่าวคือเมื่อชาวไร่ชาวนามีรายได้เพิ่มขึ้นจากชีวมวล จะนำเงินส่วนนี้ไปใช้จ่ายหมุนเวียนในท้องถิ่น เช่นค่าจ้างคนเก็บและรวบรวมชีวมวล คนเหล่านี้จะนำเงินไปใช้จ่ายต่ออีกทอดหนึ่ง เป็นอย่างนี้เรื่อยไป

7. ประหยัดเงินตราต่างประเทศเพราะไม่ต้องนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเช่น น้ำมันเตา และถ่านหิน เป็นต้น

8. เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าที่สุด

ข้อเสีย

1. ถ้าไม่สามารถจัดการกับปริมาณก๊าซเสียที่ออกมาจากโรงงานได้อาจเกิดมลพิษให้กับชุมชนได้ เช่น ฝุ่น ผงเถ้าถ่าน ก๊าซที่เป็นต้นเหตุของสภาวะเรือนกระจก

2. ถ้าจัดเก็บชีวมวลมีดีอาจส่งกลิ่นรบกวนชุมชนบริเวณข้างเคียงได้

3. ถ้าเชื้อเพลิงชีวมวลมีความชื้นจะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ได้ และ การผลิตกระแสไฟฟ้าลดลง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของโรงงานผลิตกระสไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด ซึ่งเป็นที่นิยมจัดตั้งโรงงานเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและจำหน่ายกระแสไฟฟ้าให้องค์กรการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) ตามนโยบายกระทรวงพลังงานเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทย เป็นโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก VSPP (Very Small Power Plant) ทดแทนการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ ซึ่งปัจจุบันถูกประชาชนต่อต้านเป็นจำนวนมาก

งานวิจัยนี้ ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด จำนวน 2 ประเภท แบ่งเป็น โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm โดยอ้างอิงข้อมูลที่ใช้ในโรงงานจริง ใช้ข้อมูลจากบริษัทกัลกุน โซล่าฟาร์ม อำเภอเนินปอ จังหวัด พิจิตร เป็นแม่แบบและโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification โดยอ้างอิงข้อมูลที่ใช้ในโรงงานจริง ใช้ข้อมูลจากบริษัทน้ำตาลนครเพชร อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร เป็นแม่แบบเพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นจากทั้ง 2 ประเภทดังกล่าว โดยผลแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นคิดเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในหน่วยกิโลกรัม(kg Co_2 equivalent) ประเมินตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050

1. กำหนดวัตถุประสงค์และเลือกผลิตภัณฑ์

เริ่มกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farmโดยเริ่มจากการเลือกผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในโรงงานและจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่ใช้

กำหนดผลิตภัณฑ์อุปกรณ์หลัก

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตภัณฑ์ Suntechกำลังการผลิต 305 W/cell

Inverter ผลิตภัณฑ์Growatt ระบบ22 kvกำลังการผลิต 1,000 kW ขนาด 0.74 mx 0.44 m x 2.35 m น้ำหนัก 6,000 kg

Transformer กำลังการผลิต1 MVaผลิตภัณฑ์ ไทยเอกรัฐ ระบบ 22 kvกำลังการผลิต 1,000 kVA ขนาด 1.68 mx 1.34 m x 1.75 m น้ำหนัก 2,210 kg

2. กำหนดขอบเขตการประเมิน

พิจาณากำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm ที่ตั้งของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farmและอายุการใช้งานเฉลี่ยของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farmขั้นตอนของกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ

กำหนดที่ตั้ง

โรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier: มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

โรงงานฐานการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ :9 Xinhua Road, New District, Wuxi Jiangsu Province 214028 People's Republic of China

โรงงานฐานการผลิต Inveter :28 Guanghui Road, Longteng Community, Shiyan, Baoan District, Shenzhen, P.R. China

โรงงานฐานการผลิต Transformer :190/1 หมู่ที่ 6 ตำบลท่าสะอ้าน อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24130

3. สร้างแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต

การสร้างแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต (Flowchart of production processing) ตามขอบเขตของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่เลือก โดยจะแสดงรายละเอียดของกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอน รวมถึงการขนส่ง

4. การเก็บข้อมูลมลพิษทั้งทางตรงและทางอ้อม

4.1 การเก็บข้อมูลมลพิษทางตรง

กำหนดให้ข้อมูลทางตรงคือ ข้อมูลในส่วนของ การผลิตผลิตภัณฑ์ทุกชนิดในระบบของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm

4.2 การเก็บข้อมูลมลพิษงทางอ้อม

กำหนดให้ข้อมูลทางอ้อมคือ ข้อมูลในส่วนการขนส่งผลิตภัณฑ์ต่างๆมายังโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm

4.3 กำหนดวิธีการติดตั้งผลิตภัณฑ์ในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm

5. ประเมิณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การคำนวณใช้วิธีการประเมิณด้วยหลักการ LCA ตามมาตรฐาน ISO 14040 โดยใช้ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Equivalency factor) คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในหน่วยกิโลกรัม(kg Co_2 equivalent)

5.1 ประเมิณส่วนการผลิตอุปกรณ์ในระบบ

5.2 ประเมิณในส่วนการขนส่งของผลิตภัณฑ์จากโรงงานการผลิตมายังโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm

6. การทำรายงานพร้อมให้คำแนะนำในการลดการปลดปล่อยมลพิษ

ไม่มีการพิจารณา

7. การลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ไม่มีการพิจารณา

นำผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอน 4 (การเก็บข้อมูลมลพิษทั้งทางตรงและทางอ้อม) และขั้นตอน 5 (ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์) รวมกันเพื่อเป็นค่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Cell แล้วคำนวณให้อยู่ในปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์/การผลตกระแสไฟฟ้า 1 หน่วย

ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050

1. กำหนดวัตถุประสงค์และเลือกผลิตภัณฑ์

เริ่มกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification โดยเริ่มจากการเลือกผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในโรงงานและจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่ใช้

กำหนดผลิตภัณฑ์อุปกรณ์หลัก

ข้าวเปลือกปริมาณ 934,035 ตันข้าวเปลือกมีค่าเฟกเตอร์0.0753 kgCo2-eq /kg คิดเป็น 71,010,535.5 kgCo2-eq

Transformer กำลังการผลิต1 MVaผลิตภัณฑ์ ไทยเอกรัฐ ระบบ 22 kvกำลังการผลิต 1,000 kVA ขนาด 1.68 mx 1.34 m x 1.75 m น้ำหนัก 2,210 kg

Downdraft Gasifier model UFBGPP 1000 ผลัตภัณฑ์ powermax กำลังการผลิต 1MWp

2. กำหนดขอบเขตการประเมิน

พิจาณา กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification ที่ตั้งของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification และอายุการใช้งานเฉลี่ยของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification ขั้นตอนของกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ

กำหนดที่ตั้ง

โรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier: มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

โรงงานฐานการผลิตข้าว : รัศมีรอบโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasifier 20 กิโลเมตร

โรงงานฐานการผลิต Transformer :190/1 หมู่ที่ 6 ตำบลท่าสะอ้าน อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24130

โรงงานฐานการผลิต Downdraft Gasifier: 77, Xinguang Rd., Zhangjing Town, Wuxi City, Jiangsu Province. China

3. สร้างแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต

การสร้างแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต (Flowchart of production processing) ตามขอบเขตของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่เลือก โดยจะแสดงรายละเอียดของกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอน รวมถึงการขนส่ง

4. การเก็บข้อมูลมลพิษทั้งทางตรงและทางอ้อม

4.1 การเก็บข้อมูลมลพิษทางตรง

กำหนดให้ข้อมูลทางตรงคือ ข้อมูลในส่วนของ การผลิตผลิตภัณฑ์ทุกชนิดในระบบของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification

4.2 การเก็บข้อมูลมลพิษทางอ้อม

กำหนดให้ข้อมูลทางอ้อมคือ ข้อมูลในส่วนการขนส่งผลิตภัณฑ์ต่างๆมายังโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification

4.3 กำหนดวิธีการติดตั้งผลิตภัณฑ์ในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification

5. ประเมิณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การคำนวณใช้วิธีการประเมิณด้วยหลักการ LCA ตามมาตรฐาน ISO 14040 โดยใช้ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Equivalency factor) คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในหน่วยกิโลกรัม(kg Co_2 equivalent)

5.1 ประเมินส่วนการผลิตอุปกรณ์ในระบบ

5.2 ประเมินส่วนการขนส่งของผลิตภัณฑ์จากโรงงานการผลิตมายังโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification

5.3 ประเมินส่วนกระบวนการ Gasification ที่เกิดขึ้นในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification

6. การทำรายงานพร้อมให้คำแนะนำในการลดการปลดปล่อยมลพิษ

ไม่มีการพิจารณา

7. การลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ไม่มีการพิจารณา

นำผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอน 4 (การเก็บข้อมูลมลพิษทั้งทางตรงและทางอ้อม) และขั้นตอน5 (ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์) รวมกันเพื่อเป็นค่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Cell แล้วคำนวณให้อยู่ในปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์/การผลิตกระแสไฟฟ้า 1หน่วย

การเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการประเมินที่ได้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050

นำผลจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm การเปรียบเทียบและแสดงผลกับผลจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification โดยแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นคิดเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในหน่วยกิโลกรัม(kg Co_2 equivalent) โดยการเปรียบเทียบจะแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อดังนี้

1. นำผลจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm ในส่วนของวัตถุดิบเปรียบเทียบและแสดงผลกับผลจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification ในส่วนของวัตถุดิบโดยมีการผลแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นคิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์/การผลิตกระแสไฟฟ้า1หน่วย

2. ใช้ผลจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm ในส่วนของการขนส่งเปรียบเทียบและแสดงผลกับผลจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification ในส่วนของการขนส่งโดยผลแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นคิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์/การผลิตกระแสไฟฟ้า1หน่วย

3. ใช้ผลจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm ในส่วนของกระบวนการผลิตเปรียบเทียบและการแสดงผลกับผลจากการประเมินคาร์บอน

ฟุตพริ้นท์จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification ในส่วนของกระบวนการผลิตโดยผลแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นคิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์/การผลิตกระแสไฟฟ้า 1 หน่วย

นำผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอน 1 วัตถุดิบ, ขั้นตอน 2 การขนส่งและขั้นตอน 3 กระบวนการผลิต รวมกันพื่อเป็นค่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Cell แล้วคำนวณให้อยู่ในปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์/การผลิตกระแสไฟฟ้า 1 หน่วย

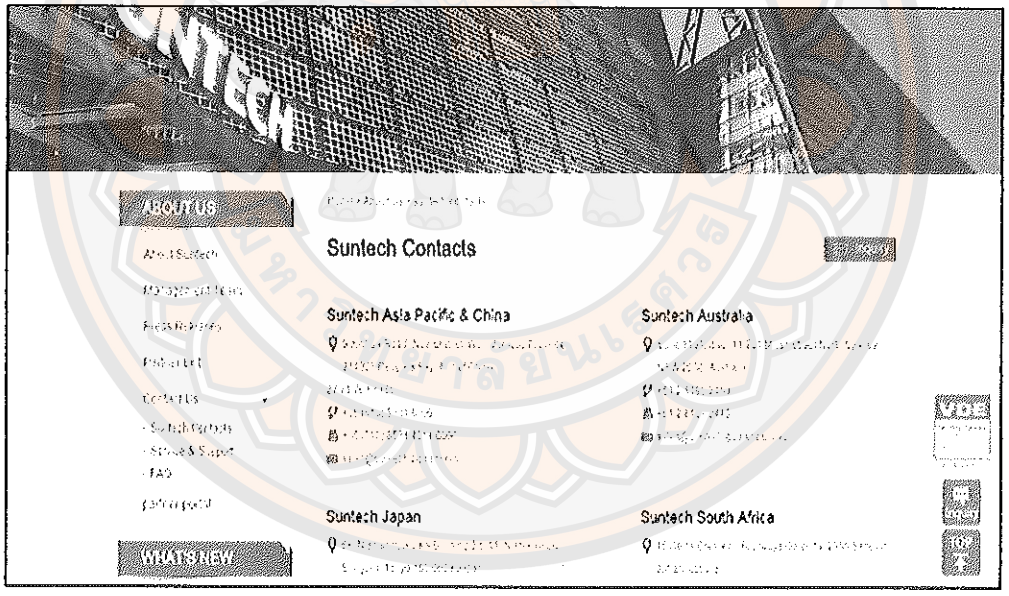
บทที่ 4

ผลการวิจัย

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050

1. กำหนดวัตถุประสงค์และเลือกผลิตภัณฑ์

1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตภัณฑ์ Suntechรุ่น STP305/Vem (Polycrystalline) กำลังการผลิต 305 W/cell และรุ่น STP295s-20/Wew (Monocrystalline) กำลังการผลิต 295 W/cell (suntech.pdf,spec) โดยเลือกใช้จากโรงงานฐานการผลิต ที่อยู่ 9 Xinhua Road, New District, Wuxi Jiangsu Province 214028 People's Republic of Chinaในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต (25 ปี ตามระยะเวลารับประกันคุณภาพ)

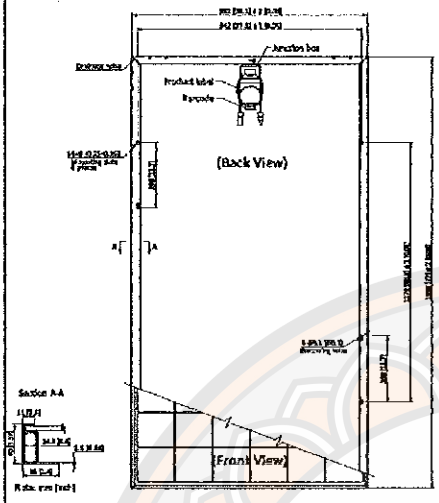


ภาพ 19 ที่ตั้งโรงงานผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ผลิตภัณฑ์ Suntech

ที่มา: www.suntech.pdf,spec.com

STP315 - 24/Vem
STP310 - 24/Vem
STP305 - 24/Vem

SUNTECH
BE UNLIMITED

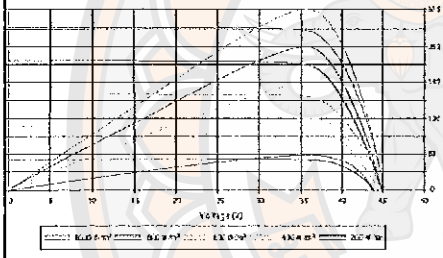


Electrical Characteristics

STC	STP315-24/Vem	STP310-24/Vem	STP305-24/Vem
Maximum Power at STC (Pmax)	315 W	310 W	305 W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	36.8 V	36.5 V	36.2 V
Optimum Operating Current (Imp)	8.56 A	8.50 A	8.43 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.1 V	44.9 V	44.7 V
Short Circuit Current (Isc)	9.02 A	8.96 A	8.89 A
Module Efficiency	16.2%	16.0%	15.7%
Operating Module Temperature	-40 °C to +85 °C		
Maximum System Voltage	1000 V DC (IEC)		
Maximum Series Fuse Rating	20 A		
Power Tolerance	0/+5 %		

NOCT	STP315-24/Vem	STP310-24/Vem	STP305-24/Vem
Maximum Power at NOCT (Pmax)	229 W	226 W	222 W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	33.2 V	32.8 V	32.6 V
Optimum Operating Current (Imp)	6.91 A	6.88 A	6.80 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.5 V	40.9 V	40.8 V
Short Circuit Current (Isc)	7.30 A	7.26 A	7.19 A

Current-Voltage & Power-Voltage Curve (315-24)



Temperature Characteristics

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.42 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.33 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.067 %/°C

Mechanical Characteristics

Solar Cell	Polycrystalline silicon 156 × 156 mm (6 inches)
No. of Cells	72 (6 × 12)
Dimensions	1956 × 992 × 40mm (77.0 × 39.1 × 1.6 inches)
Weight	25.8 kgs (56.9 lbs.)
Front Glass	4.0 mm (0.16 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction Box	IP68 rated (3 bypass diodes)
Output Cables	TUV (2Pfg1169:2007)
	4.0 mm² (0.006 inches²), symmetrical lengths (-) 1100mm (43.3 inches) and (+) 1100 mm (43.3 inches)
Connectors	Original MC4 connectors

Dealer Information

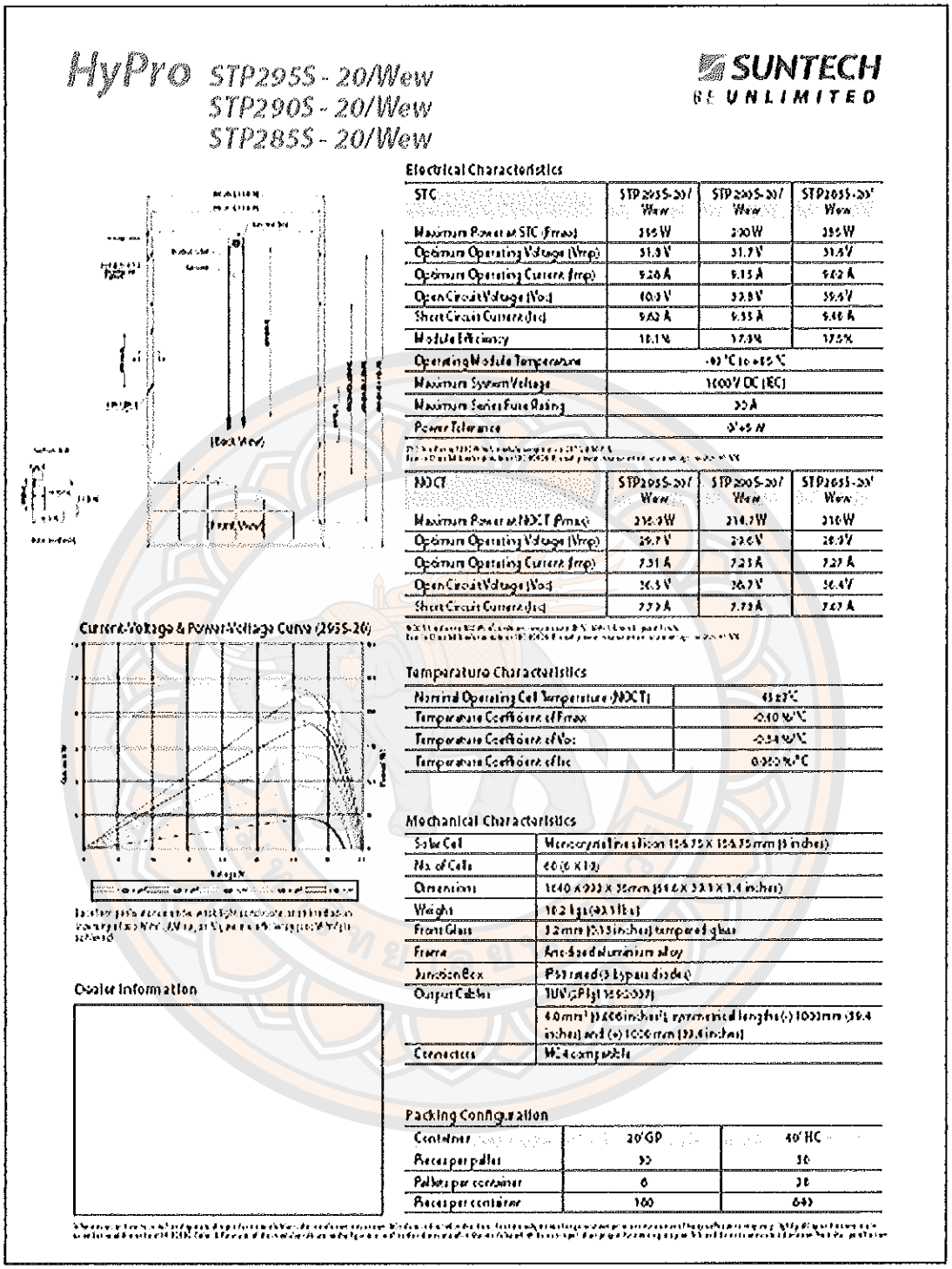
Packing Configuration

Container	20' GP	40' GP	40' HC
Pieces per pallet	25	25	25
Pallets per container	5	12	24
Pieces per container	125	300	600

E-mail: sales@suntech-power.com
www.suntech-power.com
[EC STP Vem-NO1.01 Rev 2015

ภาพ 20 คุณสมบัติเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น STP305/Vem ผลิตภัณฑ์ Suntech

ที่มา: www.suntech.pdf,spec.com



HyPro STP295S - 20/Wew
STP290S - 20/Wew
STP285S - 20/Wew

SUNTECH
BE UNLIMITED

Electrical Characteristics

STC	STP295S-20/Wew	STP290S-20/Wew	STP285S-20/Wew
Maximum Power at STC (Pmax)	295W	290W	285W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	31.3V	31.1V	30.9V
Optimum Operating Current (Imp)	9.43A	9.33A	9.23A
Open Circuit Voltage (Voc)	40.1V	39.8V	39.6V
Short Circuit Current (Isc)	9.62A	9.55A	9.48A
Module Efficiency	18.1%	17.8%	17.5%
Operating Module Temperature	-40°C to +85°C		
Maximum System Voltage	1000V DC (IEC)		
Maximum Series Fuse Rating	20A		
Power Tolerance	0/+5W		

NOCT	STP295S-20/Wew	STP290S-20/Wew	STP285S-20/Wew
Maximum Power at NOCT (Pmax)	215.0W	211.7W	208W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	28.7V	28.6V	28.3V
Optimum Operating Current (Imp)	7.51A	7.41A	7.37A
Open Circuit Voltage (Voc)	36.5V	36.2V	36.0V
Short Circuit Current (Isc)	7.73A	7.70A	7.67A

Current-Voltage & Power-Voltage Curve (295S-20)

Temperature Characteristics

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.40%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.050%/°C

Mechanical Characteristics

Solar Cell	Monocrystalline silicon (156.75×156.75mm (6 inches))
No. of Cells	60 (6×10)
Dimensions	1640×992×35mm (64.6×39.1×1.4 inches)
Weight	18.2kg (40.1lbs)
Front Glass	3.2mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction Box	IP65 rated (3 bypass diodes)
Output Cables	TUV 1×4.0mm² (0.006 inches²), symmetrical lengths (-) 1000mm (39.4 inches) and (+) 1000mm (39.4 inches)
Connectors	MC4 compatible

Packing Configuration

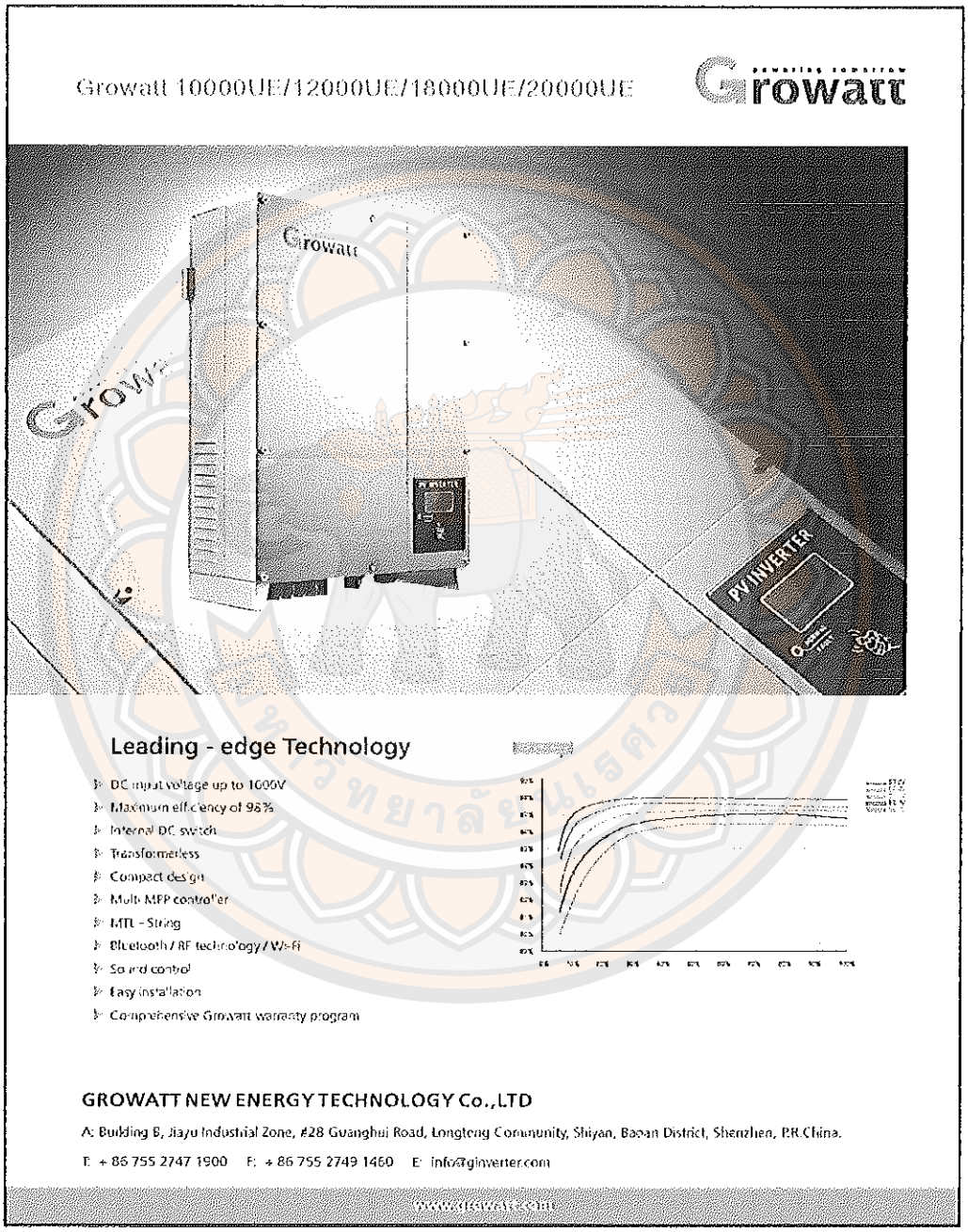
Container	20'GP	40'HC
Pieces per pallet	20	20
Pallets per container	6	28
Pieces per container	120	640

Dealer Information

ภาพ 21 คุณสมบัติเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น STP295/Wew ผลิตภัณฑ์ Suntech

ที่มา: www.suntech.pdf,spec.com

1.2 Inverter ผลิตภัณฑ์Growatt ระบบ 22 kvกำลังการผลิต 1,000 kW ขนาด 0.74 mx 0.44 m x 2.35 m น้ำหนัก 6,000 kg โดยเลือกใช้จากโรงงานฐานการผลิตที่อยู่ :28Guanghui Road, Longteng Community, Shiyan, Baoan District, Shenzhen, P.R. China



ภาพ 22 คุณสมบัติเฉพาะ Inverter

ที่มา: http://www.growatt-america.com/product.html

1.3 Transformer กำลังการผลิต1 MVaผลิตภัณฑ์ไทยเอกรัฐเนื่องจาก Transformer และ Inverter มีองค์ประกอบของโลหะ เป็นหลักในการประเมินนี้จึงกำหนดให้ ค่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Transformer มีค่าเท่ากับ Inverterโดยเลือกใช้จากโรงงานฐานการผลิตที่อยู่ 190/1 หมู่ที่ 6 ตำบลท่าสะอ้าน อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24130

Type 3Ph 60Hz Low Voltage Dry Type Transformer insulation Class H
HV side 400 V.
LV side 182 /105 V. Vector connection Dyn11

EKARAT

Rating Power .. KVA	30	50	75	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
No-Load loss .. Watt	130	210	270	340	480	570	670	760	850	1000	1200	1300	1600
Load loss 75°C .. Watt	600	1050	1400	1750	2350	2900	3250	3900	4600	5500	6500	11000	13500
Impedance voltage 75°C .. %	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6
Z_w ...mOhm	44.2	26.5	17.67	13.25	8.28	6.62	5.30	4.21	3.31	2.65	2.10	2.45	1.99
Resistance Voltage .. %	3.64	3.40	3.54	3.60	3.72	3.73	3.78	3.60	3.83	3.85	3.65	5.84	5.85
X_w ...mOhm	40.1	22.6	15.62	11.91	7.70	6.17	5.01	4.00	3.17	2.55	2.03	2.42	1.94
Resistance Voltage .. %	1.67	2.10	1.87	1.75	1.47	1.45	1.30	1.24	1.15	1.10	1.03	1.35	1.35
R_w ...mOhm	18.40	13.91	8.24	5.80	3.04	2.40	1.72	1.30	0.95	0.73	0.54	0.57	0.45
Rated Current HV ... amp.	43.30	72.17	108.26	144.34	230.95	288.68	360.85	454.68	577.37	721.71	909.35	1,154.73	1,443.42
LV ... amp.	95	159	238	317	508	634	793	999	1,269	1,585	1,999	2,538	3,172
I short circuit LV (Isc) ... KA	2.4	4.0	5.9	7.9	12.7	16	20	25	32	40	50	42	53
Sound level (Lpa 0.3m) ... dB(A)	51	51	52	53	53	53	55	58	58	58	59	60	60
Efficiency at P.F. = 1													
at 25% Load .. %	97.90	97.84	98.13	98.23	98.45	98.52	98.62	98.62	98.83	98.94	98.99	99.02	99.03
at 50% Load .. %	98.33	98.15	98.37	98.47	98.68	98.72	98.83	98.95	99.01	99.08	99.11	99.00	99.01
at 75% Load ... %	98.21	97.91	98.15	98.28	98.52	98.55	98.69	98.79	98.87	98.92	98.98	98.77	98.79
at 100% Load ... %	97.94	97.54	97.82	97.95	98.26	98.29	98.46	98.56	98.66	98.72	98.79	98.49	98.51
Voltage regulation at 100% load													
at P.F. = 0.8 .. %	3.53	3.73	3.63	3.57	3.43	3.42	3.33	3.30	3.25	3.22	3.17	4.66	4.66
at P.F. = 0.9 .. %	3.12	3.40	3.25	3.17	2.93	2.97	2.88	2.81	2.75	2.71	2.66	3.89	3.87
at P.F. = 1 .. %	1.73	2.16	1.93	1.81	1.54	1.52	1.37	1.31	1.22	1.17	1.11	1.55	1.52
Overall dimension													
L ... mm	1010	1120	1165	1150	1350	1205	1350	1455	1500	1550	1550	1550	1650
W ... mm	650	740	850	760	850	835	850	950	1020	1190	1220	1335	1340
H ... mm	1015	1115	1115	1115	1220	1315	1320	1335	1415	1620	1680	1740	1750
Total weight ... Kg	330	440	530	660	880	925	1160	1290	1500	1950	2050	2110	2210

ภาพ 23 คุณสมบัติเฉพาะ Transformer

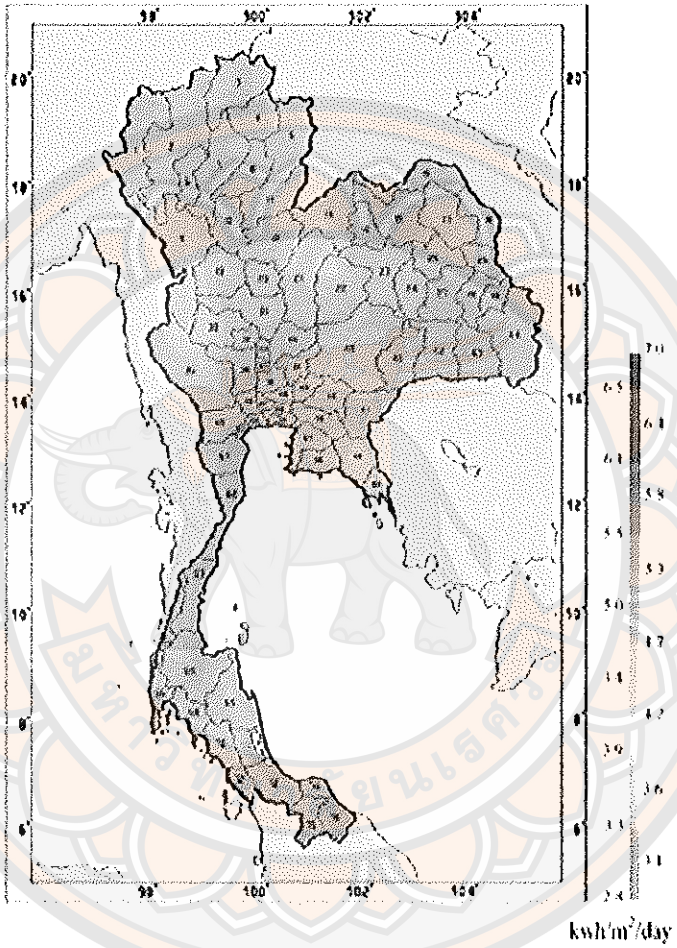
ที่มา: https://www.ekarat-transformer.com/

2. กำหนดขอบเขตการประเมิน

กรณีศึกษานี้พิจาณา จำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1MW และอายุการใช้งานเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 25 ปีพิจาณากระบวนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้จำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบ่งการคำนวณเป็น 2 ประเภทคือ

2.1 กรณีเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 305 w รุ่น STP305/Vem (Polycrystalline) 1,000,000 w/305 w หรือจำนวน 3,279 แผง

2.2 กรณีเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 295 w รุ่น STP295s-20/Wew (Monocrystalline) 1,000,000 w/295 w หรือจำนวน 3,390 แผง



ภาพ 24 ปริมาณพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ประเทศไทย พ.ศ. 2542

ที่มา: http://www.egat.co.th/

จากภาพ 18 ด้วยที่ตั้งของไทยอยู่ในเขตศูนย์สูตร ทำให้มีช่วงเวลาในการรับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ได้รับแสงอาทิตย์เฉลี่ยวันละประมาณ 5 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร ซึ่งสูงกว่าประเทศทางแถบยุโรปที่มีค่าเฉลี่ยเพียงวันละ 3-4 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อ

ตารางเมตร จึงเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงสำหรับธุรกิจโซลาร์ฟาร์มเป็นอย่างมาก มีความเข้มของแสงอาทิตย์ในไทยเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 18.2 ล้านจูนต่อตารางเมตรต่อวัน

ในการรับประกันคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ในส่วนใหญ่มีการรับประกันคุณภาพโดยเฉลี่ย 25 ปี โดยประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีความเสื่อมได้ไม่เกินปีละ 0.7% ของกำลังการผลิต

ตาราง 2 ความสามารถการผลิต และปริมาณกระแสไฟฟ้าได้ตลอดอายุการใช้งานของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Solar Farm ขนาด 1 MW

จำนวนปี	กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า	เวลาเฉลี่ย (ชม/วัน)	จำนวนหน่วย (Unit)/ต่อวัน	%อุปกรณ์เสื่อม	จำนวนหน่วย (Unit)/ต่อปี	จำหน่วยหน่วยทั้งหมด
1	1000	5.04	5040	0	1839600	1839600
2	1000	5.04	5004.72	0.7	1826722.8	3666322.8
3	1000	5.04	4969.68696	0.7	1813935.74	5480258.54
4	1000	5.04	4934.899151	0.7	1801238.19	7281496.731
5	1000	5.04	4900.354857	0.7	1788629.523	9070126.254
6	1000	5.04	4866.052373	0.7	1776109.116	10846235.37
7	1000	5.04	4831.990007	0.7	1763676.352	12609911.72
8	1000	5.04	4798.166077	0.7	1751330.618	14361242.34
9	1000	5.04	4764.578914	0.7	1739071.304	16100313.64
10	1000	5.04	4731.226862	0.7	1726897.804	17827211.45
11	1000	5.04	4698.108274	0.7	1714809.52	19542020.97
12	1000	5.04	4665.221516	0.7	1702805.853	21244826.82
13	1000	5.04	4632.564965	0.7	1690886.212	22935713.03
14	1000	5.04	4600.13701	0.7	1679050.009	24614763.04
15	1000	5.04	4567.936051	0.7	1667296.659	26282059.7
16	1000	5.04	4535.960499	0.7	1655625.582	27937685.28
17	1000	5.04	4504.208775	0.7	1644036.203	29581721.49
18	1000	5.04	4472.679314	0.7	1632527.95	31214249.44
19	1000	5.04	4441.370559	0.7	1621100.254	32835349.69
20	1000	5.04	4410.280965	0.7	1609752.552	34445102.24
21	1000	5.04	4379.408998	0.7	1598484.284	36043586.53
22	1000	5.04	4348.753135	0.7	1587294.894	37630881.42
23	1000	5.04	4318.311863	0.7	1576183.83	39207065.25
24	1000	5.04	4288.08368	0.7	1565150.543	40772215.79
25	1000	5.04	4258.067094	0.7	1554194.489	42326410.28

ในกรณีศึกษา Solar Farm ขนาด 1MW หมายความว่าค่าเฉลี่ยในการผลิตกระแสไฟฟ้าคือ 1,000x5.04 kW หรือ 5,400หน่วยต่อวัน หรือ 1,9710,000 หน่วยต่อปี (ในปีแรก) ระยะเวลาเฉลี่ยของอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ 25 ปีโดยประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีความเสื่อมได้ไม่เกินปีละ 0.7% ของกำลังการผลิตนั่นหมายความว่า สามารถผลิตปริมาณกระแสไฟฟ้าได้ตลอดอายุการใช้งานแบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Polycrystalline

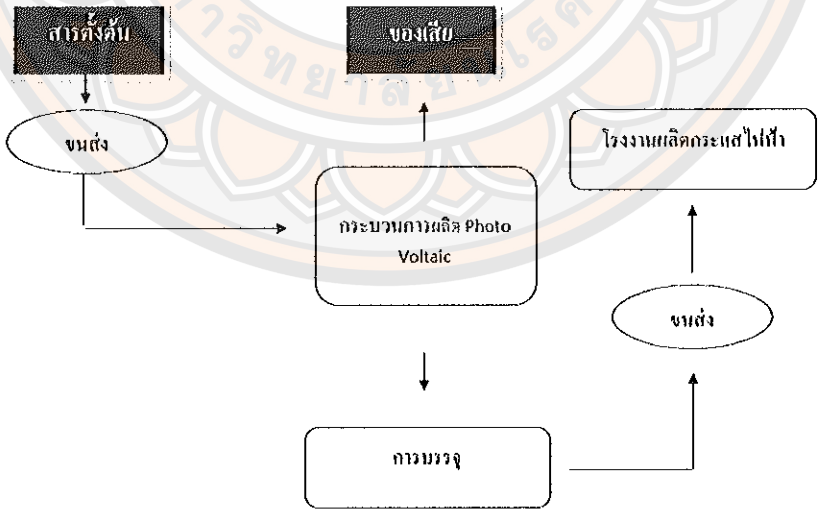
ใช้ค่าการคำควณตามตาราง 2 โดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Polycrystalline มีความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้า13%-16% (เฉลี่ย 14.5%)ของพลังงานแสงอาทิตย์คิดเป็นจำนวน 42,326,410 หน่วย

กรณีเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Monocrystalline

เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Monocrystallineมีความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้า 15%-20% (เฉลี่ย 17.5%) ของพลังงานแสงอาทิตย์คิดเป็นจำนวน 51,083,598หน่วย

3. สร้างแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต

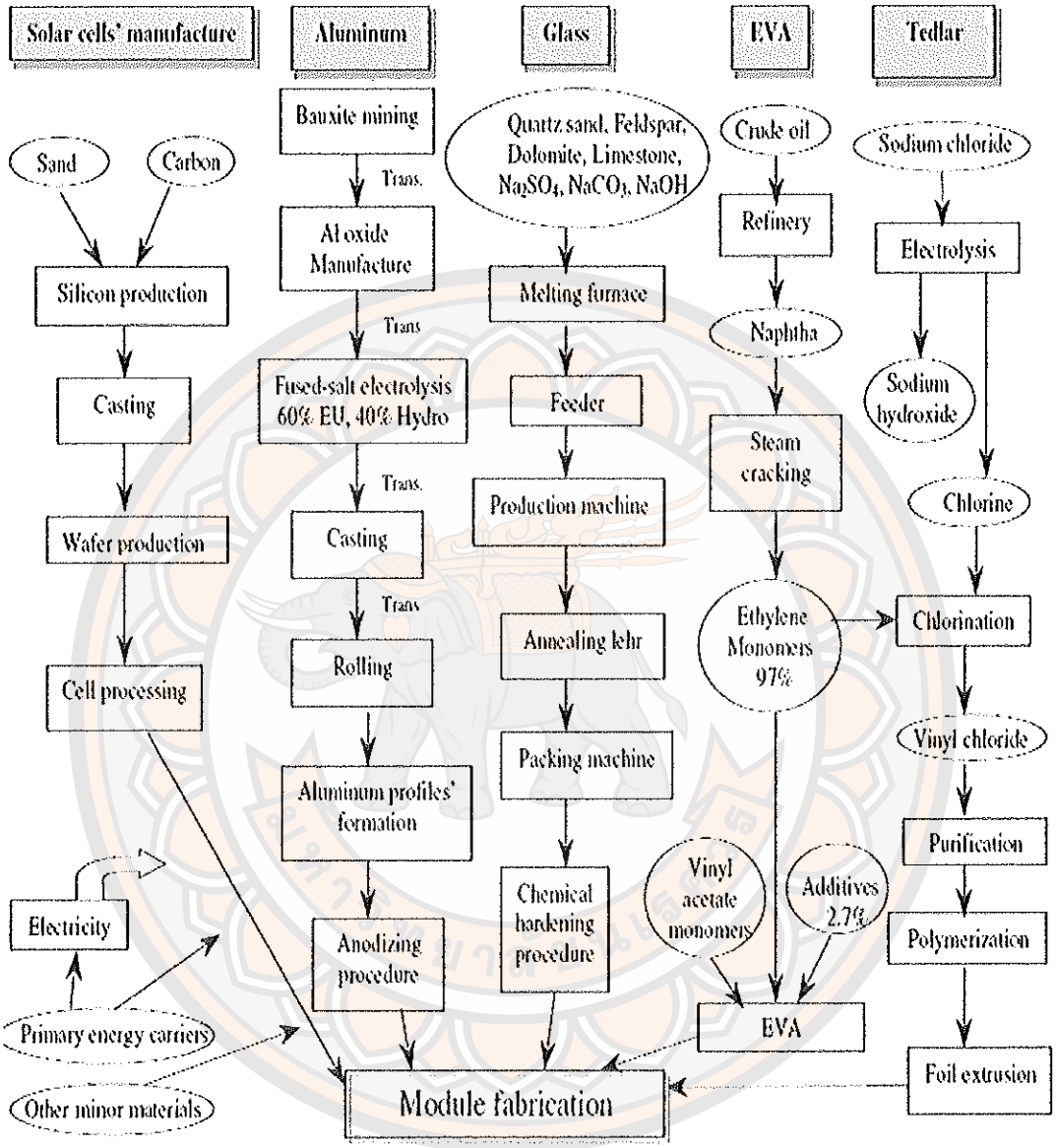
การสร้างแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต (Flowchart of production processing) ตามขอบเขตของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่เลือก โดยจะแสดงรายละเอียดกของกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอน รวมถึงการขนส่ง



ภาพ 25 กระบวนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: http://www.egat.co.th/

สารตั้งต้น คือ Aluminum ,Glass ,Silicon ,EVA(monomer) และTedlar



ภาพ 26 กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: https://www.researchgate.net/topic/Photovoltaic-Systems

4. การเก็บข้อมูลมลพิษทั้งทางตรงและทางอ้อม

4.1 กำหนดให้ข้อมูลทางตรงคือ ข้อมูลในส่วนของ การผลิตอุปกรณ์ทุกชนิดในระบบโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar farm

4.2 กำหนดให้ข้อมูลทางอ้อมคือ ข้อมูลในส่วนการขนส่งอุปกรณ์ต่างๆ มายังโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากSolar farm ขนาดกำลังการผลิต 1MW เมื่อโรงงานตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

4.3 ส่วนของการติดตั้งโรงงานผลิกกระแสไฟฟ้าจากSolar farm ขนาดกำลังการผลิต 1 MW เป็นการใช้แรงงานคนจึงไม่มีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

5. ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การคำนวณใช้วิธีการประเมินด้วยหลักการ LCA ตามมาตรฐาน ISO 14040 โดยใช้ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Equivalency factor) คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในหน่วยกิโลกรัม(kg Co_2 equivalent) ดังนี้

5.1 ประเมินณส่วนการผลิตอุปกรณ์ในระบบ

5.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตภัณฑ์ Suntech แบบ Polycrystalline, Monocrystalline และ Inverter กำลังการผลิต 1 MW

ตาราง 3 เซลล์แสงอาทิตย์ ผลิตภัณฑ์ SuntechแบบPolycrystalline,Monocrystalline และ Inverter กำลังการผลิต 1 MW

Equipment	Pollycrystalline Greenhouse Gas Emission per KWp module ,per process step (kgCo2-eq)	Monocrystalline Greenhouse Gas Emission per KWpmodule,per process step (kgCo2-eq
Silicon Feedstock	710	1,290
Ingot/crystal/wafer	368	1,120
Cell	158	137
Laminate	195	183
Frame	88.9	84.7
Mounting	63.6	60.6

ตาราง 3 (ต่อ)

Equipment	Pollycrystalline Greenhouse Gas Emission per KWp module ,per process step (kgCo2-eq)	Monocrystalline Greenhouse Gas Emission per KWpmodule,per process step (kgCo2-eq
Cabling and connectors	3.63	3.46
Inverter	124	124

ที่มา: M.J. (Mariska) de Wild-Scholten, 2013

กรณี Pollycrystalline ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของเซลล์แสงอาทิตย์ได้

$\sum$ (Si+Ingot+Cell+Laminate+Frame+mounting+cabling)x 1,000 = 1,587,130 kgCO2-eq (1,587.13 kgCO2-eq/Kwp)

กรณี Monocrystallineประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของเซลล์แสงอาทิตย์ได้

$\sum$ (Si+Ingot+Cell+Laminate+Frame+mounting+cabling)x 1,000 = 2,878,760 kgCO2-eq (2,878.76 kgCO2-eq/Kwp)

5.1.2 Inverter ผลิตภัณฑ์Growatt ระบบ 22 kvกำลังการผลิต 1,000 kW ขนาด 0.74 mx 0.44 m x 2.35 m น้ำหนัก 6,000 kg ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Inverter ตามตาราง 3 ได้ค่า 124,000 $kgCo_2$-eq

5.1.3 Transformer กำลังการผลิต1 MVaเนื่องจาก Transformer และ Inverter มีองค์ประกอบของโลหะ เป็นหลักในการประเมินนี้จึงกำหนดให้ ค่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Transformer มีค่าเท่ากับ Inverterคือ 124,000 kgCo2-eq

5.1.4 ประเมินในส่วนการขนส่งอุปกรณ์จากโรงานการผลิตมา Solar Farm (แนวทางการประเมิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์)

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน คือ 0.0555 $kgCO_2e/km$

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน (วิ่งเปล่า) คือ 0.616 $kgCO_2e/km$

5.1.5 เซลล์แสงอาทิตย์

น้ำหนักต่อแผงคือ 25.8 กิโลกรัม ขนส่งโดยรถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตันขนาด 2.55m x 8m x 4 เมตร

ขนส่งคิดเป็น 40 แผงต่อเที่ยวต่อคันไม่สามารถนำเซลล์ซ้อนกันได้ (1,032kg/เที่ยว)

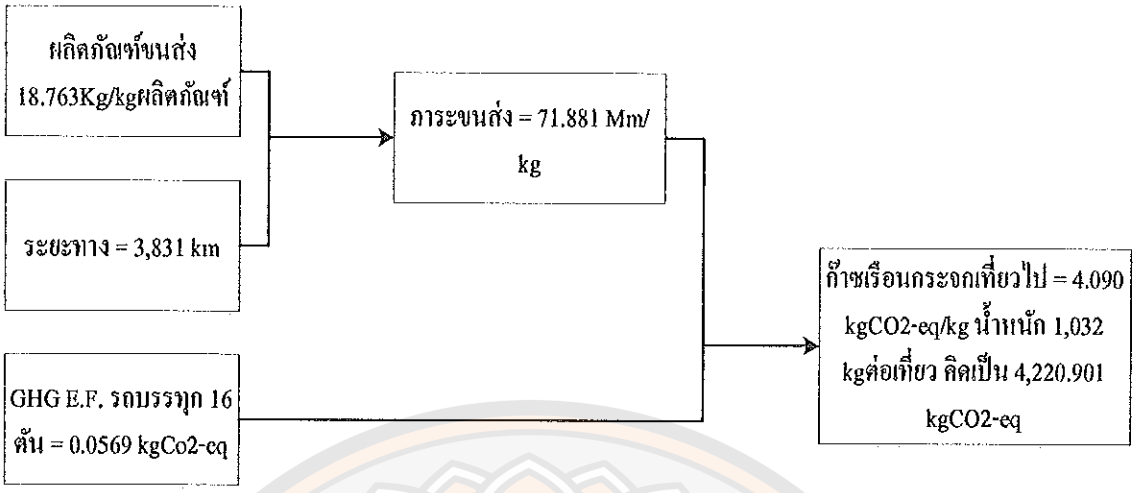
กรณี Pollycrystallineใช้ 3,279 แผง คิดเป็นเที่ยวขนส่ง 82 เที่ยว เที่ยวกลับ(รถเปล่า)82 เที่ยว

กรณี Monocrystallineใช้ 3,390 แผง คิดเป็นเที่ยวขนส่ง 85 เที่ยว เที่ยวกลับ(รถเปล่า)85 เที่ยว

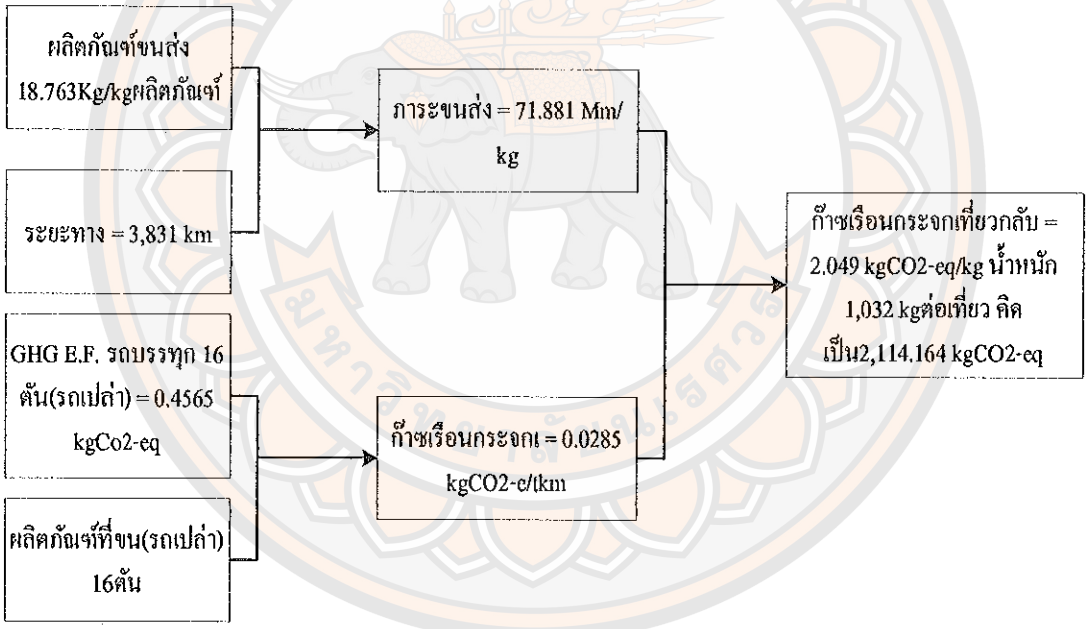
โรงงานผลิต:Suntech :9 Xinhua Road, New District, Wuxi Jiangsu, จีนSolar Farm: มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 ผลิตภัณฑ์ขนส่งคือ ปริมาณ $KgCo_2$-eq ของผลิตภัณฑ์ / น้ำหนัก Kg ผลิตภัณฑ์ = 1,587.13 x 0.305/25.8 = 18.763 Kg/Kg

ตาราง 4 คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเซลล์แสงอาทิตย์

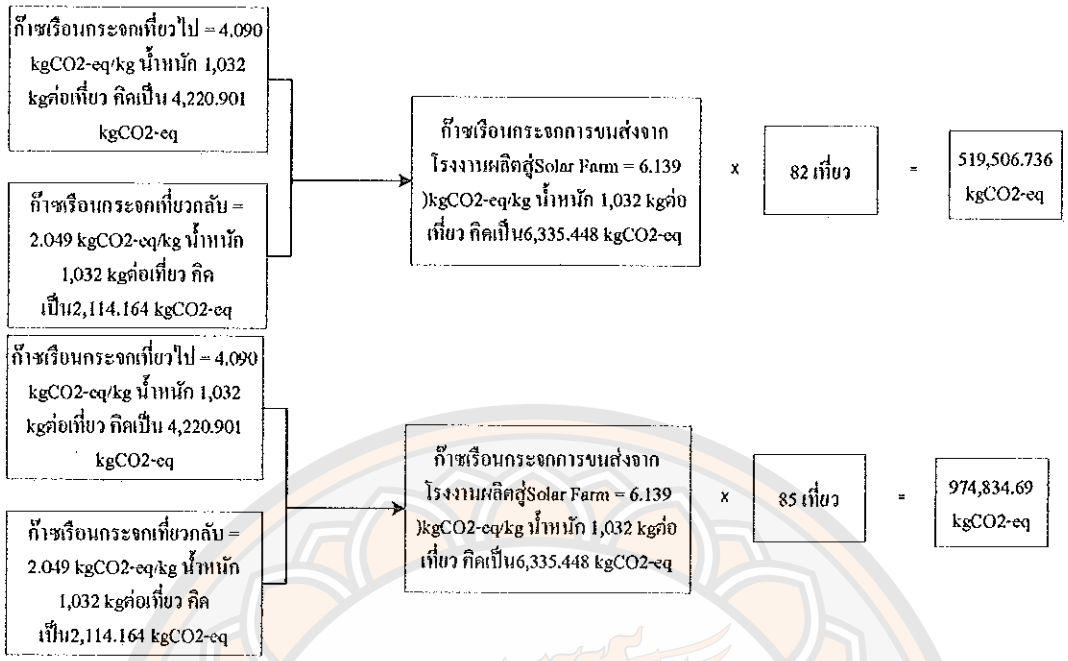
เที่ยวไป	ระยะทาง	เที่ยวกลับ	หมายเหตุ
โรงงานSuntechไปยัง Solar Farm	3,831 กม	ขากลับตีเปล่า	ระยะทางขนส่งทางบก http://maps.google.co.th



ภาพ 27 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่งเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพ 28 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพ 29 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดการขนส่งของเซลล์แสงอาทิตย์

5.1.6 Inverter ผลิตภัณฑ์Growatt ระบบ 22 kvกำลังการผลิต 1,000 kW ขนาด 0.74 mx 0.44 m x 2.35 m น้ำหนัก 6,000 kg

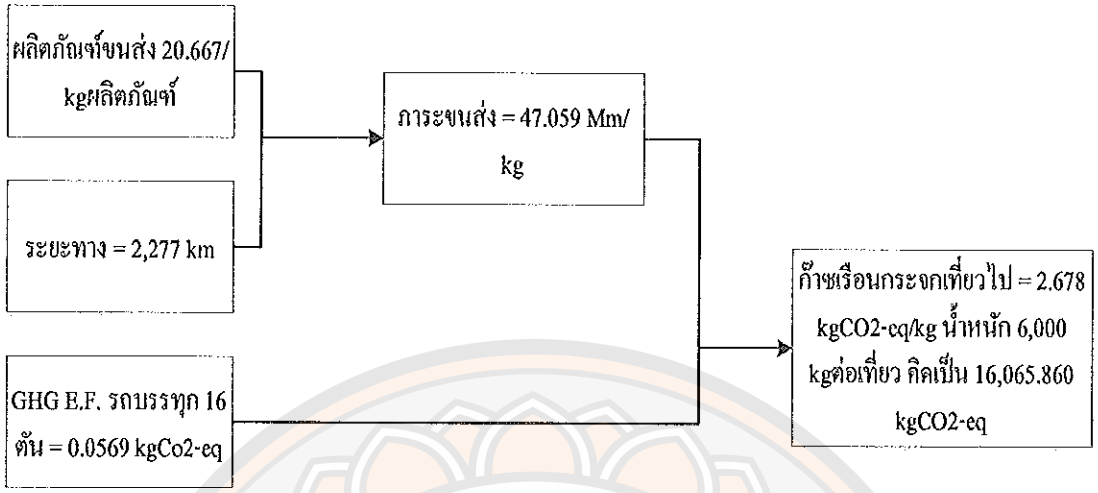
โรงงานผลิต 28 Guanghui Road, Longteng Community, Shiyan, Baoan District, Shenzhen, P.R. China

Solar Farm มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

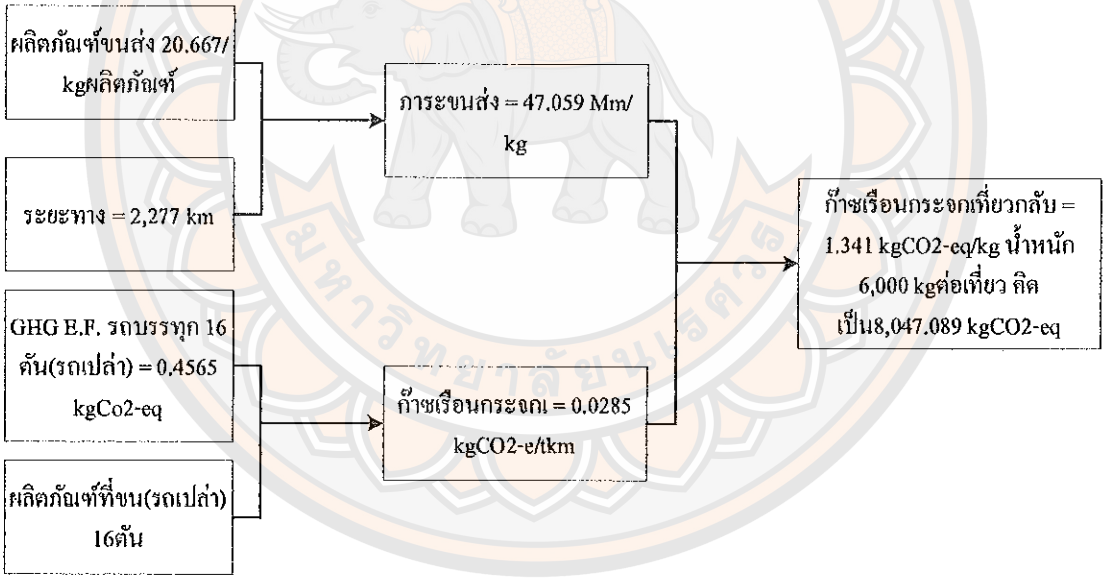
ผลิตภัณฑ์ขนส่งคือ ปริมาณ $KgCo_2$-eq ของผลิตภัณฑ์ / น้ำหนัก Kg ผลิตภัณฑ์ = 124 x 1,000 / 6,000 = 20.667 Kg/Kg

ตาราง 5 คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Inverter

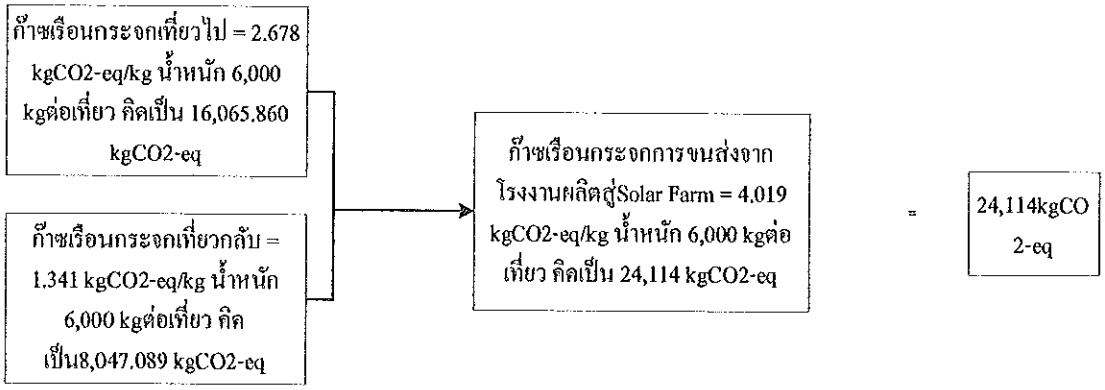
เที่ยวไป	ระยะทาง	เที่ยวกลับ	หมายเหตุ
โรงงาน Growattไปยัง Solar Farm	2,277 กม	ขากลับตีเปล่า	ระยะทางขนส่งทางบก http://maps.google.co.th



ภาพ 30 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง Inverter



ภาพ 31 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับ Inverter



ภาพ 32 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์การขนส่งของ Inverter

5.1.7 Transformer ผลิตภัณฑ์เอกรัฐ ระบบ 22 kvกำลังการผลิต 1,000 kVA ขนาด 1.68 mx 1.34 m x 1.75 m น้ำหนัก 2,210 kg

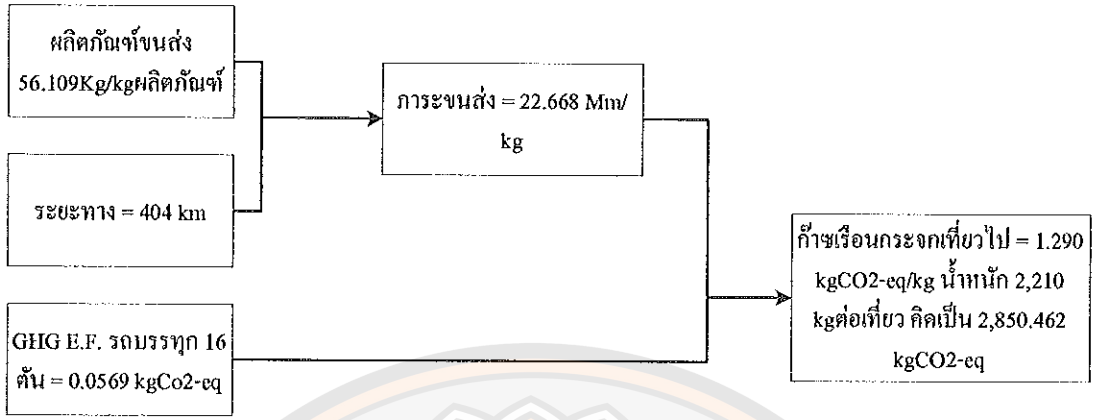
โรงงานผลิต 190/1 หมู่ที่ 6 ตำบล ท่าสะอ้าน อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24130

Solar Farm มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

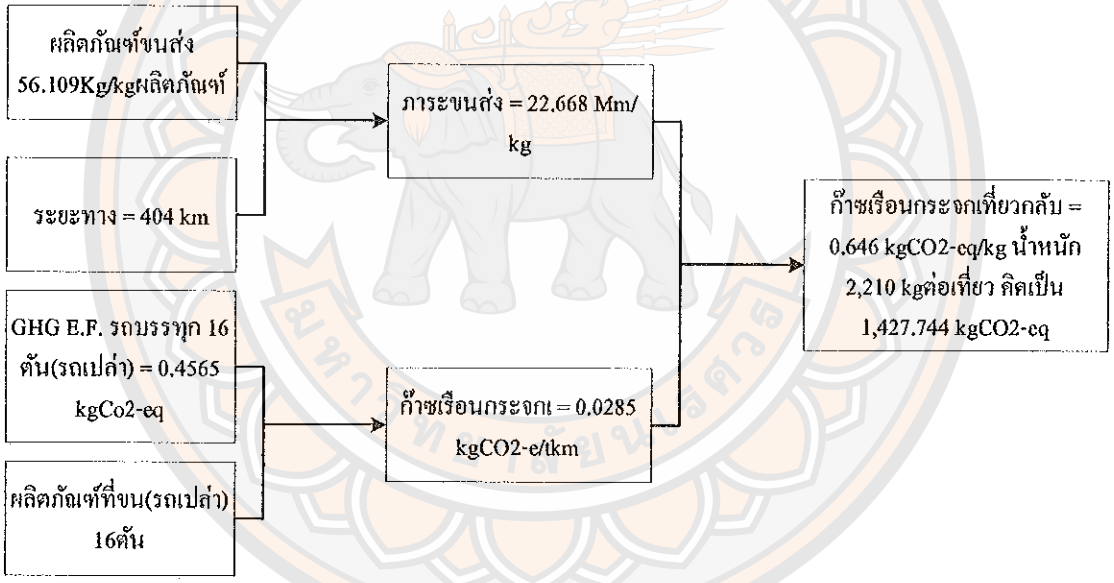
ผลิตภัณฑ์ขนส่งคือ ปริมาณ $KgCo_2$-eq ของผลิตภัณฑ์/ น้ำหนัก Kg ผลิตภัณฑ์ 124 x 1,000 / 2,210 = 56.109 Kg/Kg

ตาราง 6 คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Transformer

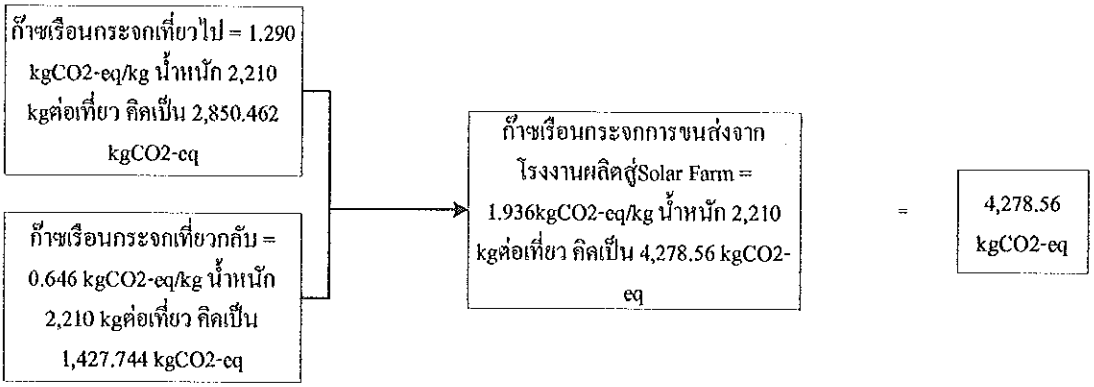
เที่ยวไป	ระยะทาง	เที่ยวกลับ	หมายเหตุ
โรงงานเอกรัฐไปยัง Solar Farm	404 กม	ขากลับตีเปล่า	ระยะทางขนส่งทางบก http://maps.google.co.th



ภาพ 33 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง Transformer



ภาพ 34 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับ Transformer



ภาพ 35 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขนส่ง Transformer

5.1.8 การทำรายงานพร้อมให้คำแนะนำในการลดการปลดปล่อยมลพิษ

ไม่มีการพิจารณา

5.1.9 การลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ไม่มีการพิจารณา

ตาราง 7 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้าง Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1 MW

ประเภท	Polycrystalline ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCo_2$-eq)	Monocrystalline ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCo_2$-eq)	หมายเหตุ
การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	1,587,130	2,878,760	อ้างอิง :M.J.de wild-Scholten
การผลิต Inverter	124,000	124,000	อ้างอิง :M.J.de wild-Scholten
การผลิต Transformer	124,000	124,000	อ้างอิง :M.J.de wild-Scholten
การขนส่งเซลล์แสงอาทิตย์	519,506.736	974,834.69	คำนวณ
การขนส่ง Inverter	24,114	24,114	คำนวณ
การขนส่ง Transformer	4,278.56	4,278.56	คำนวณ
รวม	2,383,029.296	4,130,027.25	คำนวณ

กรณี Polycrystallineคิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 2,383,029.296 kgCo2-eq/42,326,410.28 kWh = 0.0563 $kgCo_2$-eq/kWh

กรณี Monocrystalline คิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 4,130,027.25 kgCo2-eq/51,083,598 kWh = 0.0808 $kgCo_2$-eq/kWh

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Gasification ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน PAS 2050

1. กำหนดวัตถุประสงค์และเลือกผลิตภัณฑ์

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากผลิตภัณฑ์สารตั้งต้น พิจารณาโดยใช้แกลบซึ่งเป็นชีวมวลที่ได้จากโรงสีข้าว เมื่อนำข้าวเปลือก 1 ตัน ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ แล้ว จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 30-60 kWh เพื่อให้ได้ข้าวประมาณ 650-700 กิโลกรัม และจะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตหรือ แกลบ ประมาณ 220 กิโลกรัม หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 90-125 kWh หากต้องการผลิตกระแสไฟฟ้า 1MW ต้องใช้แกลบคิดเป็นจำนวน 1.876 ตันต่อชั่วโมง หรือใช้ข้าวเปลือก 8.53 ตันต่อชั่วโมง คำนวณที่ปริมาณแกลบ 1 kg ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 0.533kW เรื่องระบบผลิตพลังงานจากชีวมวล กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

กาก (ชาน)อ้อยเป็นชีวมวลที่ได้จากโรงงานน้ำตาล เมื่อนำอ้อย 1 ตัน ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ แล้ว จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 25-30 kWh และใช้ไอน้ำอีก 0.4 ตัน เพื่อให้ได้น้ำตาลทรายประมาณ 100-121 กิโลกรัม และจะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตหรือ กากก้อยประมาณ 290 กิโลกรัม หรือหรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 100 kWhหากต้องการผลิตกระแสไฟฟ้า 1MW ต้องใช้กากอ้อยคิดเป็นจำนวน 2.9 ตันต่อชั่วโมง หรือใช้ปริมาณอ้อย 10 ตันต่อชั่วโมง

2. กำหนดขอบเขตการประเมิน

2.1 ระยะเวลาในการเดินระบบ คือ 12 ชั่วโมง/วัน (กรมพัฒนาพลังงานงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

2.2 ระยะเวลาในการดำเนินการ Gasification 1MW 25 ปี (เทียบเท่า Solar farm) คิดเป็นระยะเวลาในการเดินระบบ 12x365x25 คือ 109,500 ชั่วโมง

2.3 พิจาณาจากปริมาณ แกลบ ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า 1.876 ตันต่อชั่วโมง คิดเป็นปริมาณทั้งหมด 205,422 ตันหรือใช้ข้าวเปลือก 8.53 ตันต่อชั่วโมง คิดเป็นปริมาณทั้งหมด 934,035 ตัน

2.4 พิจาณาจากปริมาณ กากอ้อย ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า 2.9ตันต่อชั่วโมง คิดเป็นปริมาณทั้งหมด 317,550 ตันหรือใช้อ้อย 10 ตันต่อชั่วโมง คิดเป็นปริมาณทั้งหมด 1,095,000 ตัน

ในกรณีศึกษา Gasification ขนาด 1MW หมายความว่าค่าเฉลี่ยในการผลิตกระแสไฟฟ้าคือ 1,000x12 kW หรือ 12,000 หน่วยต่อวัน หรือ 4,380,000 หน่วยต่อปีระยะเวลาทั้งหมด คือ 25 ปีนั่นหมายความว่า สามารถผลิตปริมาณกระแสไฟฟ้าได้ตลอดอายุการใช้งานเป็นจำนวน 109,500,000 หน่วย ดังตาราง 8

ตาราง 8 ความสามารถการผลิต และปริมาณกระแสไฟฟ้าได้ตลอดอายุการใช้งานของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasification ขนาด 1 MW

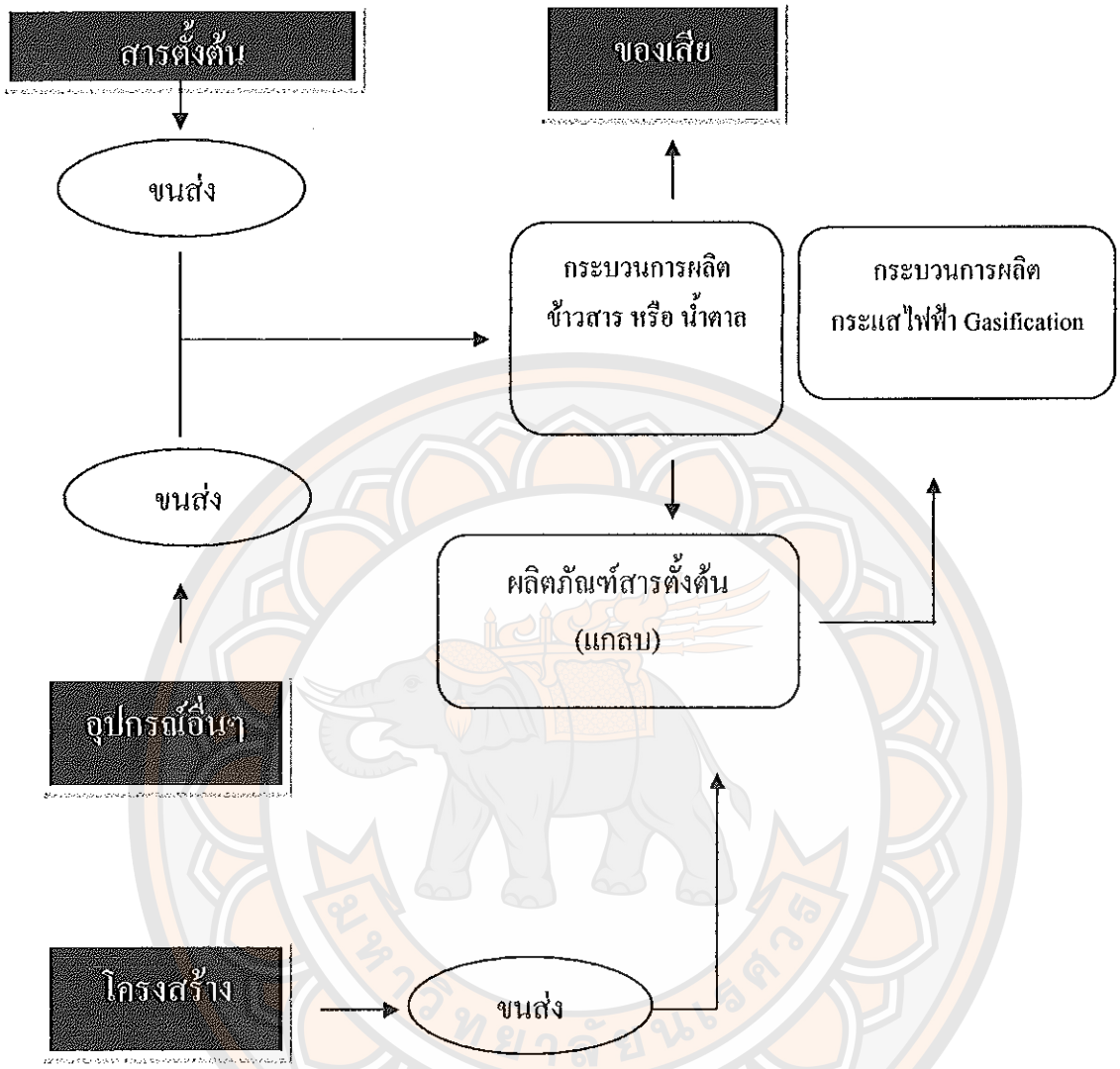
จำนวนปี	กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า	เวลาเฉลี่ย (ชม/วัน)	จำนวนหน่วย (Unit)/ต่อวัน	จำนวนหน่วย (Unit)/ต่อปี	จำหน่วยทั้งหมด
1	1000	12	12000	4380000	4380000
2	1000	12	12000	4380000	8760000
3	1000	12	12000	4380000	13140000
4	1000	12	12000	4380000	17520000
5	1000	12	12000	4380000	21900000
6	1000	12	12000	4380000	26280000
7	1000	12	12000	4380000	30660000
8	1000	12	12000	4380000	35040000
9	1000	12	12000	4380000	39420000
10	1000	12	12000	4380000	43800000
11	1000	12	12000	4380000	48180000
12	1000	12	12000	4380000	52560000
13	1000	12	12000	4380000	56940000
14	1000	12	12000	4380000	61320000
15	1000	12	12000	4380000	65700000
16	1000	12	12000	4380000	70080000
17	1000	12	12000	4380000	74460000
18	1000	12	12000	4380000	78840000
19	1000	12	12000	4380000	83220000
20	1000	12	12000	4380000	87600000

ตาราง 8 (ต่อ)

จำนวนปี	กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า	เวลาเฉลี่ย (ชม/วัน)	จำนวนหน่วย (Unit)/ต่อวัน	จำนวนหน่วย (Unit)/ต่อปี	จำหน่วยทั้งหมด
21	1000	12	12000	4380000	91980000
22	1000	12	12000	4380000	96360000
23	1000	12	12000	4380000	100740000
24	1000	12	12000	4380000	105120000
25	1000	12	12000	4380000	109500000

3. สร้างแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต

การสร้างแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต (Flowchart of production processing) ตามขอบเขตของการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่เลือก โดยจะแสดงรายละเอียดกของกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอน รวมถึงการขนส่ง



ภาพ 36 แผนผังกระบวนการผลิตของ Gasifier

4. การเก็บข้อมูลมลพิษทั้งทางตรงและทางอ้อม

4.1 กำหนดให้ข้อมูลทางตรงคือ ข้อมูลในส่วนของการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้ทุกชนิดในระบบ Gasification และวัตถุดิบ

4.2 กำหนดให้ข้อมูลทางอ้อมคือ

4.2.1 ข้อมูลในส่วนการขนส่งอุปกรณ์ต่างๆและวัตถุดิบมายังโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasification ขนาดกำลังการผลิต 1MW เมื่อโรงงานตั้งอยู่ที่: มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

4.2.2 ข้อมูลปริมาณของก๊าซต่างๆในกระบวนการ Gasification

4.2.3 ในส่วนของการติดตั้งโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิต 1 MW เป็นการใช้แรงงานคนจึงไม่มีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

5. ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การคำนวณใช้วิธีการประเมินด้วยหลักการ LCA ตามมาตรฐาน ISO 14040 โดยใช้ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Equivalency factor) คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในหน่วยกิโลกรัม(kg Co_2 equivalent) ดังนี้

5.1 ประเมินส่วนการผลิตอุปกรณ์ในระบบ

5.1.1 ข้าวเปลือกปริมาณ 934,035 ตันข้าวเปลือกมีค่าเฟกเตอร์0.0753 kgCo2-eq /kg (แนวทางการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ; องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก) คิดเป็น 71,010,535.5 $kgCo_2$-eq

5.1.2 อ้อยปริมาณ 1,095,000 ตันอ้อยมีค่าเฟกเตอร์0.0229 kgCo2-eq /kg (งานวิจัยวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย) คิดเป็น 25,075,500 $kgCo_2$-eq

5.1.3 Transformer กำลังการผลิต1 MVaใช้ Transformer อุปกรณ์เดียวกันกับ Solar Farm (ผลิตภัณฑ์เอกรัฐ ระบบ 22 kvกำลังการผลิต 1,000 kVA ขนาด 1.68 m*1.34 m* 1.75 m น้ำหนัก 2,210 kg) ในการประเมินนี้จึงกำหนดให้ ค่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Transformer มีค่า 124,000 $kgCo_2$-eq

5.1.4 Downdraft Gasifier model UFBGPP 1000 ผลิตภัณฑ์ของ powermax มีกำลังการผลิต 1MWp ดังมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังนี้

Technical Specification of UFBG series Biomass Gasification Power Generation System

Model	UFBGPP 50	UFBGPP 100	UFBGPP 200	UFBGPP 300	UFBGPP 400	UFBGPP 500	UFBGPP 600	UFBGPP 800	UFBGPP 1000	UFBGPP 1200	UFBGPP 1500	UFBGPP 2000
Rated Power	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	2000
Rated Frquencey	50/60HZ											
Rated Voltage(V)	220/400/440/6300/6600/11000/13800											
Mode of Gasifier	UFBG50	UFBG100	UFBG200	UFBG300	UFBG400	UFBG500	UFBG600	UFBG800	UFBG1000	UFBG1200	UFBG1500	UFBG2000
Gasifier Type	Updraft Fixed Bed Gasifier											
Biomass Moisture Requirement	<25%(Wet Basis)											
Biomass Size Rquirement	Diameter 20mm-75mm, Length 10 mm-75mm											
Biomass Consumption (Kg/Hr)	50-75	100-150	200-300	300-450	400-600	500-750	600-900	800-1200	1000-1500	1200-1800	1500-2250	2000-3000
Gas Production (Nm3/h)	150-175	300-350	600-700	900-1050	1200-1400	1500-1750	1800-2100	2400-2800	3000-3500	3600-4200	4500-5250	6000-7000
Ash Discharge Type	Dry Ash Type/ Wet Ash Type											
Type Of Gas Purification	Dry Type Gas Purification System											
Heat Value of Gas	>1200-1400Kcal/Nm3											
Gas Composition	CO-16~21%, CO2-5~11%, CH4 - 4~6%, H2- 10~12%, N2 - 54~60%											
Model of Genset	50GFLB	100GFLB	100GFLB	300GFLB	400GFLB	500GFLB	300GFLB	400GFLB	500GFLB	400GFLB	500GFLB	500GFLB
Qty Of Genset	1 Set	1 Sets	2 Sets	1 Set	1 Set	1 Set	2 Sets	2 Sets	2 Sets	3 Sets	3 Sets	4 Sets

ภาพ 37 คุณลักษณะเฉพาะตัวของ Downdraft Gasifier
ผลัตภัณฑ์ powermaxmodel UFBGPP 1000

ที่มา: www.powermaxsystems.en.alibaba.com

ในการประเมินนี้จึงกำหนดให้ ค่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Downdraft Gasifier model UFBGPP 1000 ผลัตภัณฑ์ powermaxกำลังการผลิต 1MWpมีค่า 124,000 kgCo2-eq(เทียบเท่า ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Transformer เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบสำคัญเป็นโลหะและเหล็ก เป็นส่วนมาก ซึ่งมีค่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์น้อย)

5.2 ประเมินในส่วนการขนส่งอุปกรณ์จากโรงานการผลิตมาโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน คือ 0.0555 kgCO2e/km

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน(วิ่งเปล่า) คือ 0.616 kgCO2e/km

5.2.1 Downdraft Gasifier model UFBGPP 1000 ผลัตภัณฑ์ powermax กำลังการผลิต 1MWpน้ำหนัก 4.5 ton หรือ 4,500 กิโลกกรัม/ชุด

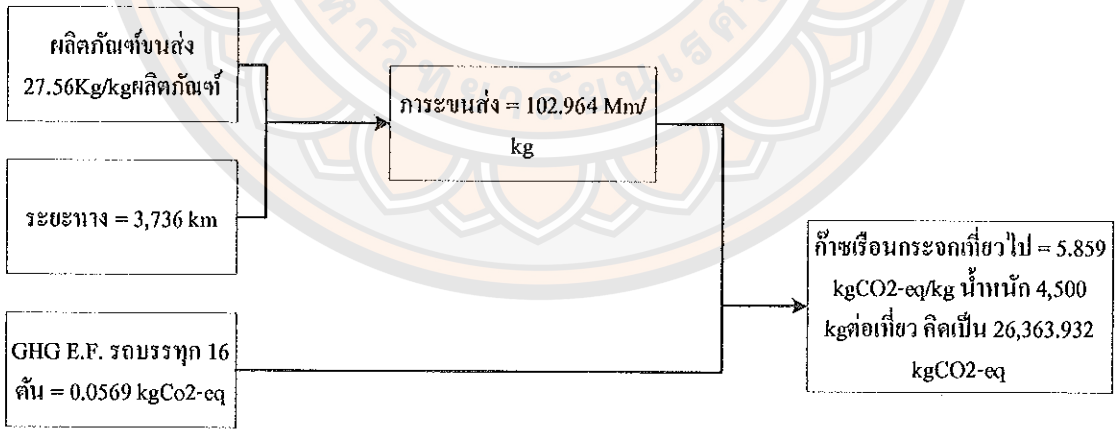
โรงงานผลิต: 77, Xinguang Rd., Zhangjing Town, Wuxi City, Jiangsu Province. China

โรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier: มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

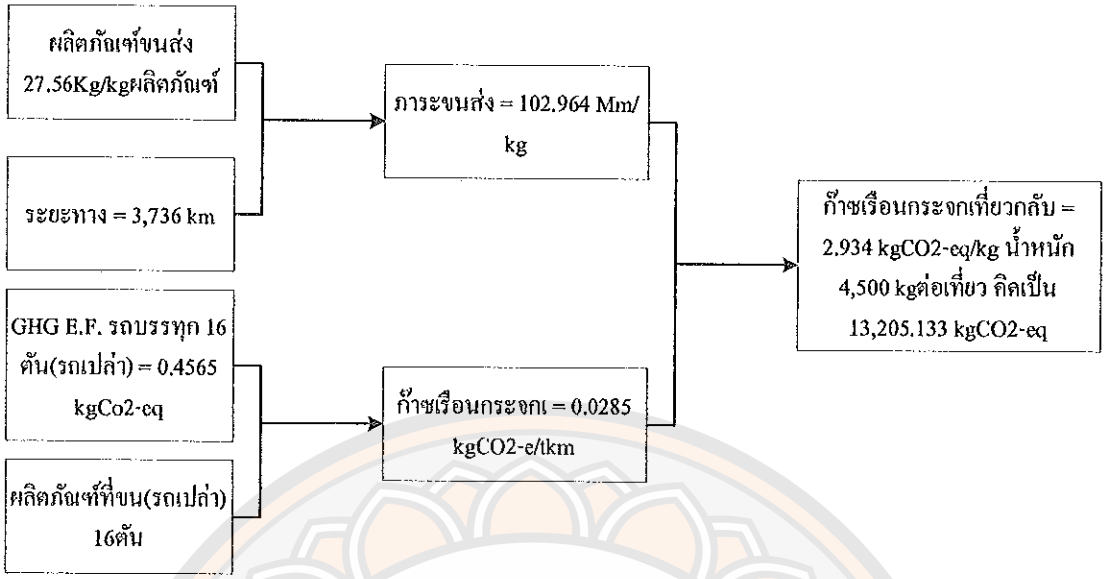
ผลิตภัณฑ์ขนส่งคือ ปริมาณ KgCo2-eq ของผลิตภัณฑ์ / น้ำหนัก Kg ผลิตภัณฑ์ คิดเป็น 124,000 KgCo2-eq / 4,500 Kg = 27.56 Kg/Kg

ตาราง 9 คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Downdraft Gasifier model UFBGPP 1000

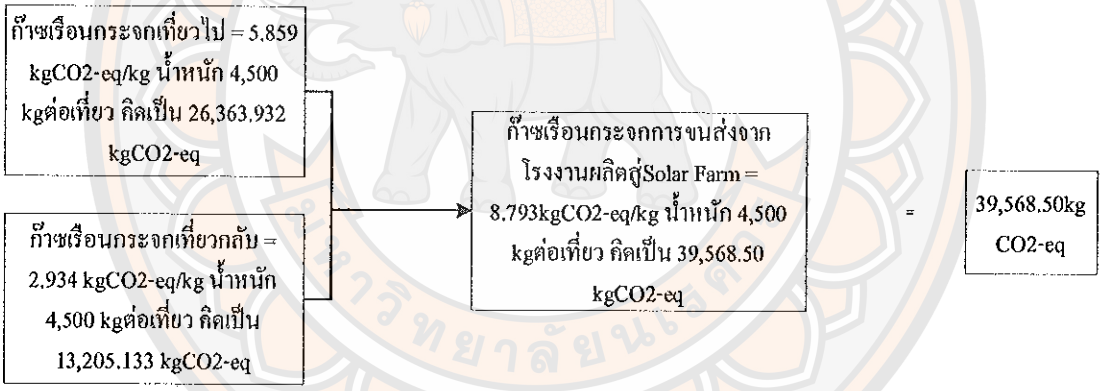
เที่ยวไป	ระยะทาง	เที่ยวกลับ	หมายเหตุ
โรงงาน powermax ไปยัง โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasifier	3,736 กม	ขากลับตีเปล่า	ระยะทางขนส่งทางบก http://maps.google.co.th



ภาพ 38 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง Downdraft Gasifier



ภาพ 39 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับ Downdraft Gasifier



ภาพ 40 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขนส่ง Downdraft Gasifier

5.2.2 Transformer ผลิตภัณฑ์เอกรัฐ ระบบ 22 kvกำลังการผลิต 1,000 kVA ขนาด 1.68 mx 1.34 m x 1.75 m น้ำหนัก 2,210 kg

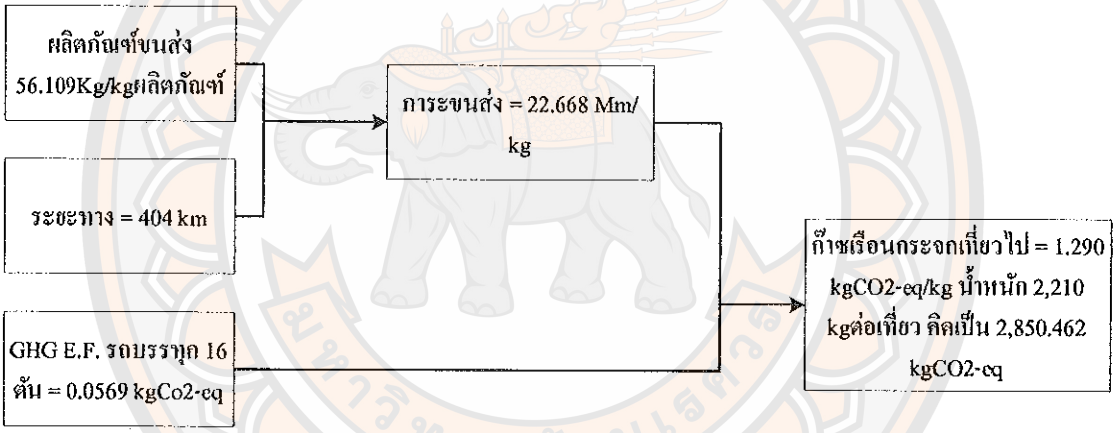
โรงงานผลิต 190/1 หมู่ที่ 6 ตำบล ท่าสะอ้าน อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24130

โรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

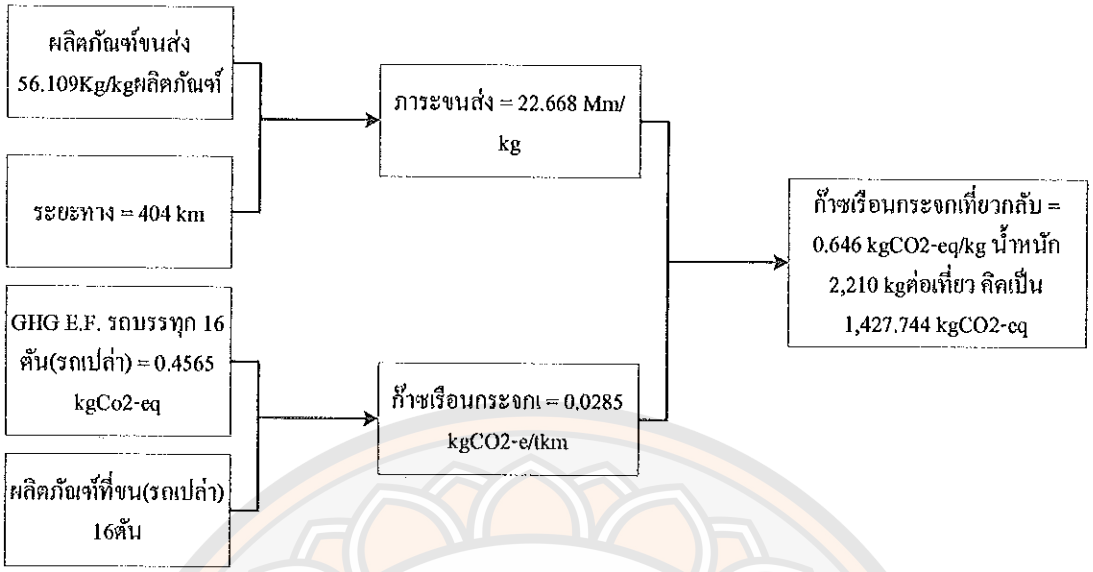
ผลิตภัณฑ์ขนส่งคือ ปริมาณ KgCo2-eq ของผลิตภัณฑ์ / น้ำหนัก Kg ผลิตภัณฑ์ 124 x 1,000 / 2,210 = 56.109 Kg/Kg

ตาราง 10 คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของTransformer

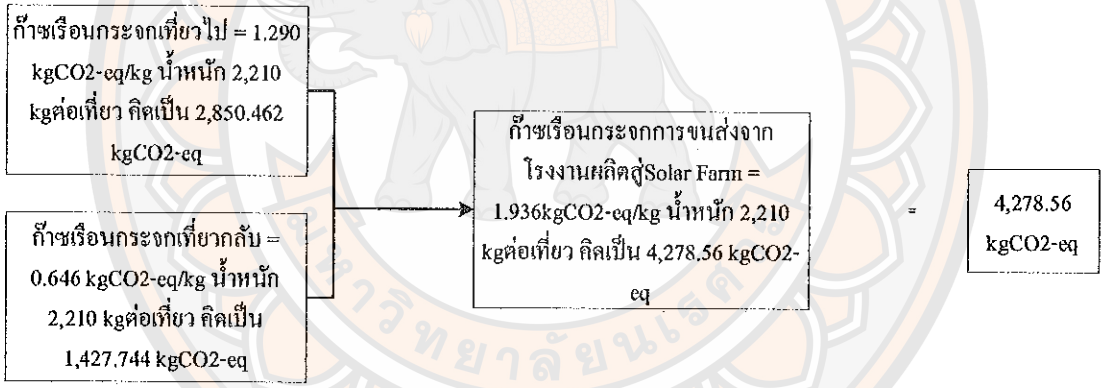
เที่ยวไป	ระยะทาง	เที่ยวกลับ	หมายเหตุ
โรงงานเอกรัฐไปยัง Solar Farm	404 กม	ขากลับตีเปล่า	ระยะทางขนส่งทางบก http://maps.google.co.th



ภาพ 41 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง Transformer



ภาพ 42 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับ Transformer



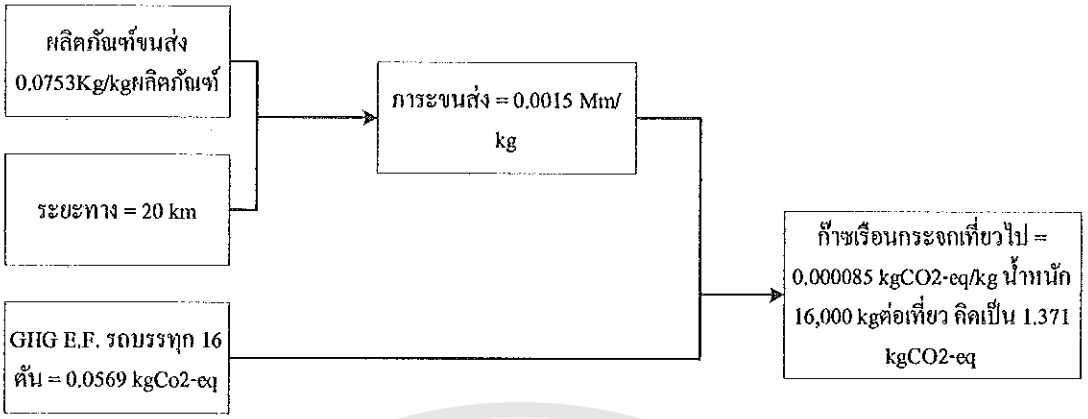
ภาพ 43 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขนส่ง Transformer

5.2.3 ข้าวเปลือก ปริมาณ 934,035 ตันข้าวเปลือกมีค่าเฟกเตอร์0.0753 kgCo2-eq /kg ขนส่งเป็นจำนวน 934,035/16 = 58,378 เที่ยว

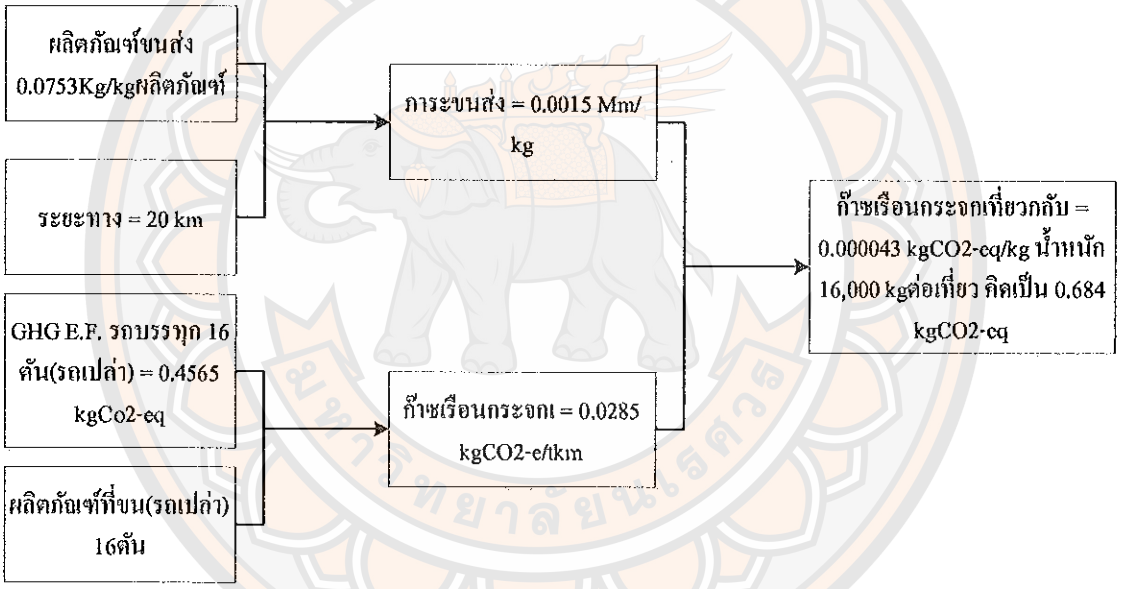
โรงงานผลิต รัศมีเฉลี่ย 20 กิโลเมตรจากโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier

โรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

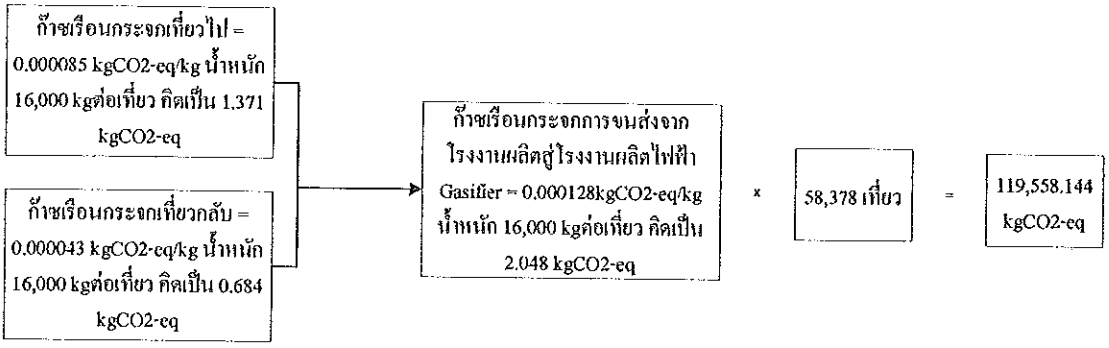
ผลิตภัณฑ์ขนส่งคือ ปริมาณ KgCo2-eq ของผลิตภัณฑ์ / น้ำหนัก Kg ผลิตภัณฑ์ = 0.0753 Kg/Kg



ภาพ 44 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง แกลบ



ภาพ 45 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับ แกลบ



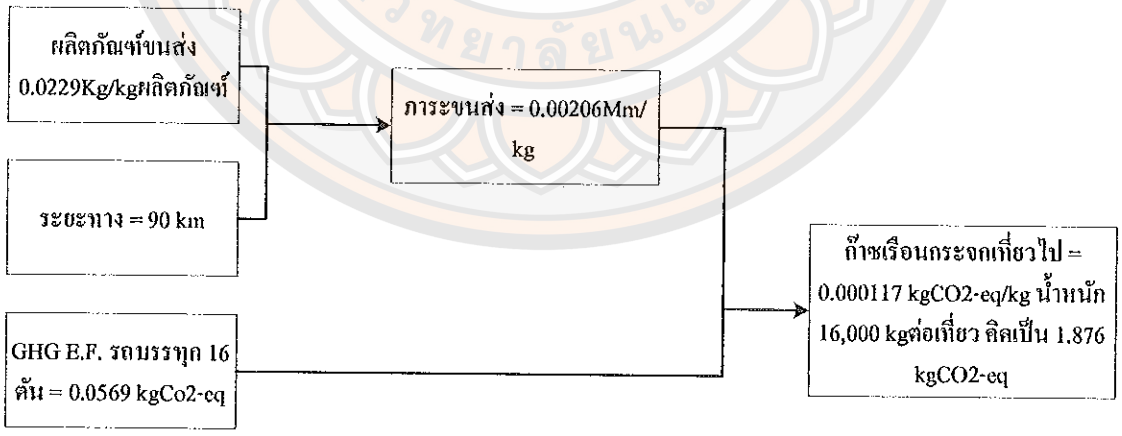
ภาพ 46 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขนส่ง แกลบ

5.2.4 อ้อยปริมาณ 1,095,000 ตันอ้อยมีค่าเฟกเตอร์0.0229 kgCo2-eq /kg ขนส่งเป็นจำนวน 1,095,000 /16 =68,438เที่ยว

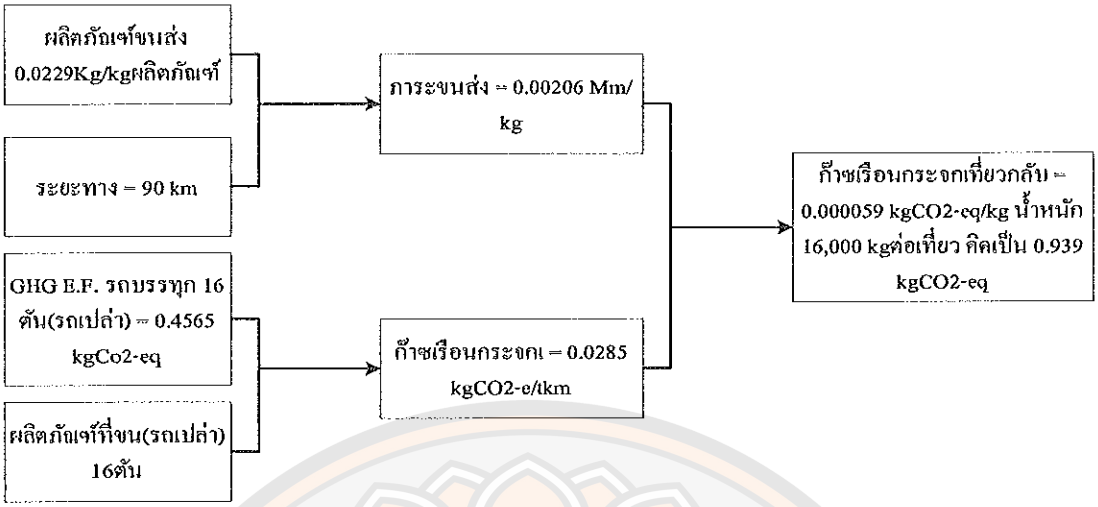
โรงงานผลิต รัศมีเฉลี่ย 90กิโลเมตร(Google map)จากโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier

โรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

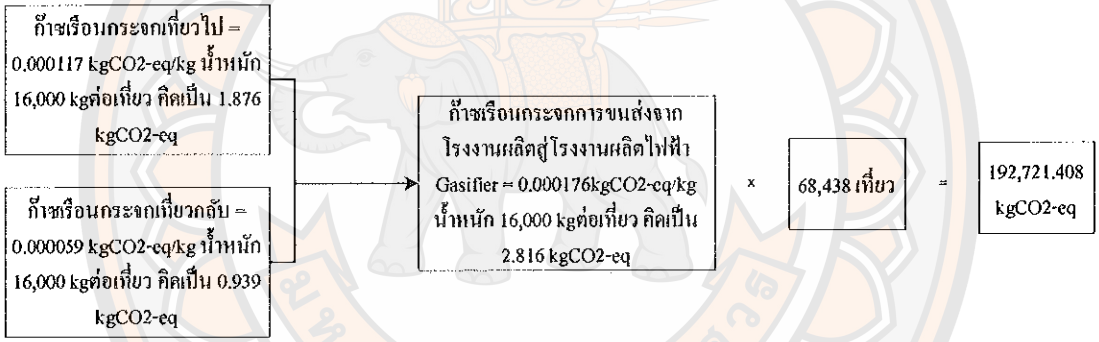
ผลิตภัณฑ์ขนส่งคือ ปริมาณ KgCo2-eq ของผลิตภัณฑ์ / น้ำหนัก Kg ผลิตภัณฑ์ = 0.0229 Kg/Kg



ภาพ 47 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง ชานอ้อย



ภาพ 48 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวกลับ ชานอ้อย



ภาพ 49 คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เที่ยวขนส่ง ชานอ้อย

5.2.5 ปริมาณของก๊าซต่างๆในกระบวนการ Gasification

ตาราง 11 ปริมาณของก๊าซต่าง ๆในกระบวนการ Gasification ที่ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ชนิด	ปริมาณ (กรมพลังงาน)	ปริมาณ (คำนวณ)
1. เชื้อเพลิงที่ใช้		
		1,876kg/hrคิดเป็น
1.1 อัตราการใช้เชื้อเพลิง (แกลบ)	500 – 750 kg/Hr	205,422,000 kg

ตาราง 11 (ต่อ)

ชนิด	ปริมาณ (กรมพลังงาน)	ปริมาณ (คำนวณ)
1.2 ค่าความร้อน	13,729.97 kJ/kg	
2. องค์ประกอบของก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้น		382,084,920 ลบ.ม.
2.1 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	15.23%	58,191,533 ลบ.ม.
2.2 ไฮโดรเจน (H2)	8.10%	30,948,878.5 ลบ.ม.
2.3 มีเทน (CH4)	2.71%	10,354,501.3 ลบ.ม.
2.4 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)	16.13%	61,630,297.6 ลบ.ม.
2.5 ไนโตรเจน (N)	56.25%	214,922,767.5 ลบ.ม.
2.6 อัตราการไหลของก๊าซ	1,100 m3/Hr	
2.7 ค่าความร้อนเฉลี่ยของก๊าซที่เกิดจากระบบ*	4.0398 MJ/m3	
3. การทำงานของระบบ		
3.1 อุณหภูมิเชื้อเพลิงที่ถูกเป่าด้วยลมร้อน	100 – 300	
3.2 อุณหภูมิของทรายบริเวณ Pyrolysis	500 – 700	
3.3 อุณหภูมิบริเวณ Throat	800 – 1100	
3.4 อุณหภูมิก๊าซเข้าเครื่องยนต	40-55	
3.5 ประสิทธิภาพโดยของระบบเตา	41.30%	
4. ของเสียที่เกิดขึ้น		
4.1 เถ้าแกลบ	25 % ของปริมาณแกลบ	6,355,500 kg
4.2 ทาร์	29 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร	11,080,462.7 kg

หมายเหตุ: การผลิตเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม ผลิตก๊าซได้ 1.86 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

ตาราง 12 ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ Gasifier

ชนิดของเสีย	ปริมาณที่เกิดขึ้น	ค่าเฟกเตอร์ คาร์บอนฟุตพริ้นท์	ประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	61,630,297.6 ลบ.ม.	0.1605	9,891,662.76 $kgCo_2$-eq
เถ้าแกลบ	6,355,500 kg	0.0243 ใช้ค่าเถ้าถ่านหิน	154,438.65 $kgCo_2$-eq
ทาร์	11,080,462.7 kg	0.616 ใช้ค่าน้ำมันหล่อลื่น	6,825,565.02 $kgCo_2$-eq
รวม			16,871,666.43 $kgCo_2$-eq

5.2.6 การทำรายงานพร้อมให้คำแนะนำในการลดการปลดปล่อยมลพิษ
ไม่มีการพิจารณา

5.27 การลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์
ไม่มีการพิจารณา

ตาราง 13 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1 MW

ประเภท	วัตถุดิบข้าวเปลือก ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์- ($kgCo_2$-eq)	วัตถุดิบชานอ้อย ประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ ($kgCo_2$-eq)	หมายเหตุ
การผลิตวัตถุดิบ	71,010,535.5	25,075,500	พลังงานทดแทน, กระทรวงพลังงาน
การผลิต Transformer	124,000	124,000	อ้างอิง :M.J.de wild-Scholten

ตาราง 13 (ต่อ)

ประเภท	วัตถุดิบข้าวเปลือก ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์- ($kgCo_2$-eq)	วัตถุดิบชานอ้อย ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCo_2$-eq)	หมายเหตุ
การผลิต Downdraft Gasifier	124,000	124,000	อ้างอิง :M.J.de wild-Scholten
การขนส่งวัตถุดิบ	119,558.144	192,721.408	คำนวณ
การขนส่ง Transformer	4,278.56	4,278.56	คำนวณ
การขนส่ง Downdraft Gasifier	39,568.5	39,568.5	คำนวณ
ของเสียจากกระบวนการ Gasifier	16,871,666.43	19,779,210.35	อ้างอิง : โครงการวิจัยระบบผลิตพลังงานชีวมวล ,กรมพลังงานทดแทน
รวม	88,293,607.13	45,339,278.82	

กรณีใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบคิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์88,293,607.13 $kgCo_2$-eq/109,500,000kWh = 0.806334 $kgCo_2$-eq/kW

กรณีใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบคิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์45,339,278.82$kgCo_2$-eq/109,500,000kWh = 0.414057 $kgCo_2$-eq/kW

เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการประเมินที่ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และข้อโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าชีวมวล

ตาราง 14 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1 MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1 MW

ประเภท	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCo_2$-eq)	กำลังการผลิต (Unit) หรือ kWh	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์/Unit
Solar FarmPollycrystalline	2,383,029.296	42,326,410.28	0.0563
Solar Farm Moncrystalline	4,130,027.25	51,083,598	0.0808
Gasification แกลบ	88,293,607.13	109,500,000	0.806334
Gasification ชานอ้อย	42,431,734.90	109,500,000	0.414057

บทที่ 5

บทสรุป

การประเมินและวิเคราห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจาก Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1MWp ภาคเหนือตอนล่าง ประเทศไทย ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ประเภท Pollycrystallineและ Monocrystalline โดยอ้างอิงข้อมูลที่ใช้ในโรงานจริง ใช้ข้อมูลจากบริษัทกัลกุน โซล่าฟาร์ม อำเภอเนินปอ จังหวัด พิจิตร เป็นแม่แบบ และโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1MWp โดยอ้างอิงข้อมูลที่ใช้ในโรงงานจริง ใช้ข้อมูลจากบริษัท น้ำตาลนครเพชร อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร เป็นแม่แบบ ด้วยชีวมวลคือ แกลบ และชานอ้อย โดยกำหนดให้ที่ตั้งของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าคือ มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 เพื่อประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ซึ่งจะแสดงผลอยู่ในรูปปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อ1 หน่วยการผลิตกระแสไฟฟ้า ประเทศไทยประจำปี 2558 มีค่า 0.5610 $kgCO_2$-eq (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ ,2560 ,อินเทอร์เน็ต) และจากงานวิจัยพบว่าค่าโดยประมาณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อ1 หน่วยการผลิตกระแสไฟฟ้า กรณีใช้เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง 0.088 $kgCO_2$-eq ถึง0.116 $kgCO_2$-eq กรณีเผาไหม้โดยใช้ก๊าซมีค่าระหว่าง 0.365 $kgCO_2$-eq ถึง 0.600 $kgCO_2$-eq (POSTNOTE 383 ,June 2011 ,Carbon Footprint of Electricity Generation) จากการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อ1 หน่วยการผลิตกระแสไฟฟ้า ได้ค่าตามตาราง 13 (การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1MW) พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Solar Farmทั้งแบบ Pollycrystalline และMoncrystalline มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อ1 หน่วยการผลิตกระแสไฟฟ้าต่ำมาก(0.0563 และ0.0808 $kgCO_2$-eq/1unit ตามลำดับ)เมื่อเปรียบเทียบกับโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasifier ทั้งจากแกลบและชานอ้อย (0.806334 และ0.414057kgCO2-eq/1unit ตามลำดับ) โดยโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าSolar Farmแบบ Pollycrystalline มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อ1 หน่วยการผลิตกระแสไฟฟ้าต่ำที่สุด คือ 0.0563kgCO2-eq/1unit และโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasifier ทั้งจากแกลบ มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อ1 หน่วยการผลิตกระแสไฟฟ้า สูงที่สุด คือ 0.806334 kgCO2-eq/1unit โดยสามารถเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากปัจจัยหลักแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้ดังนี้

วัตถุดิบ

ตาราง 15 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1MW ประเภท วัตถุดิบ

ประเภท	Solar Farm Pollycrystalline ($kgCO_2$-eq)	Solar Farm Moncrystalline ($kgCO_2$-eq)	Gasification แกลบ ($kgCO_2$-eq)	Gasification กากอ้อย ($kgCO_2$-eq)
สารตั้งต้น	1,587,130	2,878,760	71,010,535.5	25,075,500
Transformer	124,000	124,000	-	-
Downdraft Gasifier	-	-	124,000	124,000
Inverter	124,000	124,000	124,000	124,000
รวม	1,835,130	3,126,760	71,258,535.5	25,323,500

เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เฉพาะส่วนวัตถุดิบจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าทั้ง 4 ประเภท พบว่า โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Solar Farm แบบ Pollycrystalline มีการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์หรือเทียบเท่าน้อยที่สุดคือปริมาณ 1,835,130$kgCO_2$-eq สาเหตุจากการใช้วัตถุดิบSilicon และ crystal ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ในปริมาณที่น้อยกว่า Solar Farm แบบ Monocrystalline และโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าGasifierจากแกลบมีการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์หรือเทียบเท่ามากที่สุดคือปริมาณ 71,258,535.5$kgCO_2$-eqสาเหตุจากการใช้ทรัพยากรที่มากในการปลูกข้าวนั่นเอง

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในส่วนวัตถุดิบ/ข้อเสนอแนะ

1. Pollycrystalline 1,587.13 $kgCO_2$-eq/Kwp Monocrystalline 2,878.76 $kgCO_2$-eq/Kwp (M.J.de wild-Scholten,2013. p.296-305) คิดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ Frame Mounting Laminate Cabling และ connectors

2. ข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ Solar cell Pollycrystalline ของผลิตภัณฑ์ BISOL ในกรณีเฉพาะ cell เท่านั้น(ไม่รวมอุปกรณ์ Frame Mounting Laminate Cabling และ connectors) มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 0.473 – 0.592 $kgCO_2$-eq/Kwp

(BISOL Solar company, อินเทอร์เน็ต , 2014)

3. การสร้าง Solar cell แบบ Pollycrystalline ใช้พลังงานไฟฟ้าในการหลอมละลาย Silicon และการหลอมให้เป็น Crystal น้อยกว่า Solar cell แบบ Monocrystalline (1,087 $kgCO_2$-eq และ2,410 $kgCO_2$-eq ตามลำดับ)

4. ปริมาณแกลบที่ใช้โดยประมาณ 205,442 ตัน มีค่าเฟกเตอร์ของปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น 0.0753 0753 $kgCo_2$-eq /kg (แนวทางการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ; องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก)

5. ปริมาณชานอ้อยที่ใช้โดยประมาณ 317,550 ตัน มีค่าเฟกเตอร์ของปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น 0.0229 $kgCo_2$-eq /kg (แนวทางการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ; องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก)

6. ค่าเฟกเตอร์ของปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น ของแกลบที่มีค่ามากกว่าชานอ้อยเกิดจากปริมาณของผลผลิตต่อไร่ ของข้าวมีค่า 0.435 ตัน/ไร่(สมาคมผู้ส่งออกข้าว ประเทศไทย, อินเทอร์เน็ต, 2560) ปริมาณของผลผลิตต่อไร่ ของอ้อยมีค่า 15.8-28 ตัน/ไร่ (พลังเกษตร, อินเทอร์เน็ต , 2560)

การขนส่ง

ตาราง 16 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1MW ประเภท การขนส่ง

ประเภท	Solar Farm Pollycrystalline ($kgCO_2$-eq)	Solar Farm Monocrystalline ($kgCO_2$-eq)	Gasification แกลบ ($kgCO_2$-eq)	Gasification กากอ้อย ($kgCO_2$-eq)
สารตั้งต้น	519,506.736	974,834.69	119,558.144	192,721.408
Transformer	4,278.56	4,278.56	4,278.56	4,278.56
Downdraft Gasifier	-	-	39,568.5	39,568.5

ตาราง 16 (ต่อ)

ประเภท	Solar Farm Pollycrystalline ($kgCO_2$-eq)	Solar Farm Monocrystalline ($kgCO_2$-eq)	Gasification แกลบ ($kgCO_2$-eq)	Gasification กากอ้อย ($kgCO_2$-eq)
Inverter	24,114	24,114	-	-
รวม	547,899.296	1,003,267.25	163,405.204	236,568.468

เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เฉพาะส่วนการขนส่งจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าทั้ง 4 ประเภท พบว่า โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasifierจากแกลบมีการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์หรือเทียบเท่าน้อยที่สุดคือปริมาณ 163,405.204$kgCO_2$-eqสาเหตุจากการขนส่งที่มีระยะทางใกล้ที่สุดแม้ว่าค่าเฟกเตอร์ผลิตภัณฑ์ขนส่ง(ปริมาณ $KgCo_2$-eq ของผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนัก Kg ผลิตภัณฑ์)มีค่า 0.0753 Kg/Kg ซึ่งมากกว่าอ้อยคือ 0.0229 Kg/Kg ก็ตาม และโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าSolar Farm แบบ Moncrystallineมีการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์หรือเทียบเท่ามากที่สุดคือปริมาณ 1,003,267.25 $kgCO_2$-eq สาเหตุจากเฟกเตอร์ผลิตภัณฑ์ขนส่งมีค่ามากที่สุด

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในส่วนการขนส่ง/ข้อเสนอแนะ

1. เปรียบเทียบ กรณี Solar farm แบบ Pollycrystalline ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีค่า 547,899.296$kgCO_2$-eq Monocrystalline ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีค่า 1,003,267.25$kgCO_2$-eq สาเหตุจากผลิตภัณฑ์ขนส่ง (ปริมาณ KgCO2-eqของผลิตภัณฑ์/ น้ำหนักผลิตภัณฑ์) แบบ Monocrystalline มีค่ามากกว่า(18.763 kg/kg,32.916 kg/kg ตามลำดับ)

2. เปรียบเทียบ กรณี Gasifier จากแกลบ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีค่า 163,405.204 $kgCO_2$-eq จากชานอ้อย ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีค่า 236,568.468$kgCO_2$-eq แม้ว่าผลิตภัณฑ์ขนส่ง(ปริมาณ KgCO2-eqของผลิตภัณฑ์/ น้ำหนักผลิตภัณฑ์) แกลบ มีค่ามากกว่า ชานอ้อย (0.0753 kg/kg, 0.0229 kg/kg ตามลำดับ) แต่การคำนวณในงานวิจัยนี้อ้างอิงจากข้อมูลจริงคือแกลบ สามารถหาวัตถุดิบได้บริเวณ รัศมี 20 km แต่ชานอ้อยในพื้นที่ไม่สามารถหาได้ เนื่องจากมีปลูกในปริมาณมากคือจังหวัดกำแพงเพชร จึงใช้รัศมีระยะทาง 90 km ในการคำนวณ

กระบวนการในการผลิตกระแสไฟฟ้าและของเสียที่เกิดขึ้น

ตาราง 17 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1MW ประเภทกระบวนการในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ประเภท	Solar Farm Pollycrystalline ($kgCO_2$-eq)	Solar Farm Moncrystalline ($kgCO_2$-eq)	Gasification แกลบ ($kgCO_2$-eq)	Gasification กากอ้อย ($kgCO_2$-eq)
ของเสียจากกระบวนการผลิต	-	-	16,871,666.43	19,779,210.35
รวม	-	-	16,871,666.43	19,779,210.35

เนื่องจากการคำนวณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงงาน Gasifier จากแกลบและกากอ้อยเป็นการคำนวณโดยคำนวณจากปริมาณการใช้จากสารตั้งต้น ส่วนโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าSolar Farm ประมาณค่าของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการน้อยมาก ในงานวิจัยนี้ให้มีค่า 0

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในส่วนการผลิตกระแสไฟฟ้าและของเสียที่เกิดขึ้น/ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ไม่ได้มีการคิดคำนวณ กรณีสูญเสียในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า กรณี Solar farm จึงกำหนดให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกระบวนการผลิตและของเสียที่เกิดขึ้น มีค่า 0

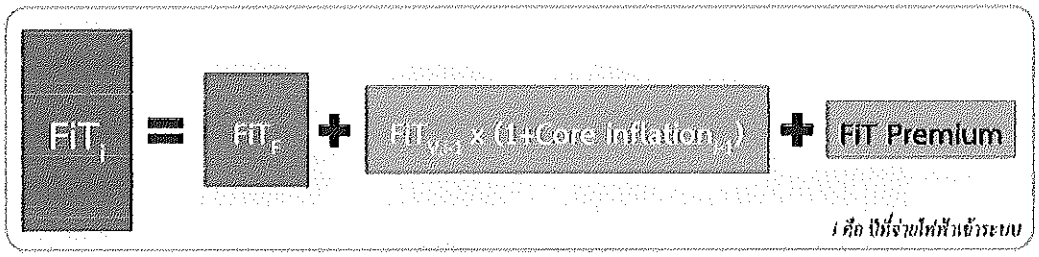
2. เนื่องจากระยะเวลาในการผลิตกระแสไฟฟ้าใช้เวลานาน 25 ปี มีงานวิจัยคิดค่าการซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าของกรณี Solar farm คิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 21%-26% จากค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้น 40gCO2-eq/kWh มีค่าคิดเป็น 8.4-10.4 gCO2-eq/kWh (NREL , 2012, Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics,)

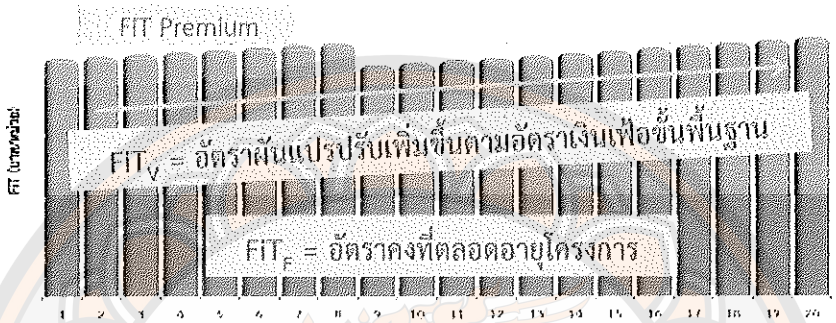
การประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพียงปัจจัยเดียวอาจไม่ใช่เหตุผลสำคัญสำหรับแรงจูงใจในการเลือกสร้างโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า อีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญในการสร้างแรงจูงใจคือรายรับ รายจ่ายของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้ามีรายละเอียดโดยประมาณดังนี้

รายจ่าย

ตาราง 18 การเปรียบเทียบราคาการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1 MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1MW

ประเภท	Solar Farm Pollycrystalline	Solar Farm Moncrystalline	Gasification แกลบ	Gasification กากอ้อย
ราคาอุปกรณ์ปี 2553 โดยประมาณ (ล้านบาท)	130 (Thai Solar - Future)	140 (Thai Solar - Future)	75 (นิตยสาร ผู้จัดการ ก.พ. 2553)	75 (นิตยสาร ผู้จัดการ ก.พ. 2553)
ราคาอุปกรณ์ปี 2559 โดยประมาณ (ล้านบาท)	60	64.6	35	35
ราคาที่ดิน (ล้านบาท)	15 ไร่ 7.5 ราคาประเมิน 500,000 บาท/ไร่	15 ไร่ 7.5 ราคาประเมิน 500,000 บาท/ไร่	5 ไร่ 2.5 ราคาประเมิน 500,000 บาท/ไร่	5 ไร่ 2.5 ราคาประเมิน 500,000 บาท/ไร่
วัตถุดิบเชื้อเพลิง ปี 2559 (ล้านบาท)	-	-	1,300 บาท/ตัน (www.Efe.or.th) 267.048	300 บาท/ตัน 95.265
รวม(ล้านบาท)	67.5	72.1	304.5	132.76





ภาพ 50 การคำนวณราคาแบบ Feed in Tariff

ที่มา: www.eppo.go.th

ตาราง 19 การคำนวณรายรับจากการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1MW เมื่อ 1 ปี มีกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า 4,380,000 หน่วย

ปี	FiT_F	$FiT_{V,t-1}$	Fit Premium	FiT_t	ราคา(บาท)
1	3.13	2.21	0	5.34	23,389,200.00
2	3.13	2.2542	0	5.3842	23,582,796.00
3	3.13	2.2984	0	5.4284	23,776,392.00
4	3.13	2.3426	0	5.4726	23,969,988.00
5	3.13	2.3868	0	5.5168	24,163,584.00
6	3.13	2.431	0	5.561	24,357,180.00
7	3.13	2.4752	0	5.6052	24,550,776.00
8	3.13	2.5194	0	5.6494	24,744,372.00

ตาราง 19 (ต่อ)

ปี	FiT_F	$FiT_{V,I-1}$	Fit Premium	FiT_I	ราคา(บาท)
9	3.13	2.5636	0	5.6936	24,937,968.00
10	3.13	2.6078	0	5.7378	25,131,564.00
11	3.13	2.652	0	5.782	25,325,160.00
12	3.13	2.6962	0	5.8262	25,518,756.00
13	3.13	2.7404	0	5.8704	25,712,352.00
14	3.13	2.7846	0	5.9146	25,905,948.00
15	3.13	2.8288	0	5.9588	26,099,544.00
16	3.13	2.873	0	6.003	26,293,140.00
17	3.13	2.9172	0	6.0472	26,486,736.00
18	3.13	2.9614	0	6.0914	26,680,332.00
19	3.13	3.0056	0	6.1356	26,873,928.00
20	3.13	3.0498	0	6.1798	27,067,524.00
21	3.13	3.094	0	6.224	27,261,120.00
22	3.13	3.1382	0	6.2682	27,454,716.00
23	3.13	3.1824	0	6.3124	27,648,312.00
24	3.13	3.2266	0	6.3566	27,841,908.00
25	3.13	3.2708	0	6.4008	28,035,504.00
รวม					642,808,800.00

กรณีโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้น กฟภ. ไม่ใช้ค่า Fit $_{VI-1}$ และให้ค่า Fit Premleum เฉพาะในจังหวัด 3 ชายแดนภาคใต้เท่านั้น (กฟภ.,อิเทอร์เน็ต , 2558,)

ตาราง 20 การเปรียบเทียบรายรับจากการคำนวณของโรงงานผลิตไฟฟ้า Gasifier ขนาดกำลังการผลิต 1MW และ โรงงานผลิตไฟฟ้า Solar Farm ขนาดกำลังการผลิต 1MW

ประเภท	Solar Farm Polycrystalline	Solar Farm Monocrystalline	Gasification แกลบ	Gasification กากอ้อย
ราคาขายไฟฟ้าแบบ FIT ปี 2559	5.66 บาท/หน่วย	5.66 บาท/หน่วย	ราคา FiT_i เปลี่ยนแปลงตามตาราง	ราคา FiT_i เปลี่ยนแปลงตามตาราง
กำลังการผลิต (หน่วย)	42,326,410	51,083,598	109,500,000	109,500,000
รายรับ	239,567,480	289,133,164	642,808,800	642,808,800

หากพิจารณาในเชิงธุรกิจแล้วโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าSolar Farm ทั้งแบบ Pollycrystalline และMoncrystalline ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อ1 หน่วยการผลิตกระแสไฟฟ้าต่ำมาก แต่ทำรายได้น้อยกว่าโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasifierจากแกลบและชานอ้อยมากเช่นกัน

ในงานวิจัยนี้ ได้คำนวณ รายได้ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าดังกล่าวทั้ง 4 โรงงาน คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate Oof Return หรือ IRR) ดังรายละเอียดดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^2} - (C_0)$$

เมื่อ

C_t คือ กระแสเงินสดสุทธิในแต่ละปี

C_0 คือ เงินลงทุนโครงการ

R คือ ค่าเสียโอกาสของเงินลงทุน

T คือ ระยะเวลา(ปี)

$$IRR = NPV - \sum_{t=1}^{n} PV(CF_n) = 0$$

เมื่อ

NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

PV คือ มูลค่าปัจจุบันของปีที่ n

CF คือ กระแสเงินสุทธิ

N คือ ระยะเวลา(ปี)

ตาราง 21 การคำนวณค่า อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate Oof Return หรือ IRR) ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Polycrystalline และแบบ Monocrystalline ขนาดกำลังการผลิต 1MW

		Polycrystalline			Monocrystalline		
ปีที่	Cash Flows	Cash Outflows	Cash Inflows	Net Cash Flows	Cash Outflows	Cash Inflows	Net Cash Flows
0	CF0	67,500,000		-67,500,000	72,100,000		-72,100,000
1	CF1		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
2	CF2		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
3	CF3		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
4	CF4		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
5	CF5		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
6	CF6		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
7	CF7		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
8	CF8		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
9	CF9		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
10	CF10		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
11	CF11		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
12	CF12		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
13	CF13		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327

ตาราง 21 (ต่อ)

ปีที่	Cash Flows	Polycrystalline Cash Outflows	Polycrystalline Cash Inflows	Polycrystalline Net Cash Flows	Monocystalline Cash Outflows	Monocystalline Cash Inflows	Monocystalline Net Cash Flows
14	CF14		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
15	CF15		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
16	CF16		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
17	CF17		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
18	CF18		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
19	CF19		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
20	CF20		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
21	CF21		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
22	CF22		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
23	CF23		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
24	CF24		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
25	CF25		9,582,700	9,582,700		11,565,327	11,565,327
Summary		67,500,000	239,567,500		72,100,000	289,133,175	
IRR			14%			16%	

ตาราง 22 การคำนวณค่า อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate Oof Return หรือ IRR) ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasifier จากแกลบและชานอ้อย ขนาดกำลังการผลิต 1MW

ปีที่	Cash Flows	Gasifier จากแกลบ Cash Outflows	Gasifier จากแกลบ Cash Inflows	Gasifier จากแกลบ Net Cash Flows	Gasifier จากชานอ้อย Cash Outflows	Gasifier จากชานอ้อย Cash Inflows	Gasifier จากชานอ้อย Net Cash Flows
0	CF0	37,500,000		-37,500,000	37,500,000		-37,500,000
1	CF1	10,681,920	23,389,200	12,707,280	3,810,600	23,389,200	19,578,600
2	CF2	10,681,920	23,582,796	12,900,876	3,810,600	23,582,796	19,772,196
3	CF3	10,681,920	23,776,392	13,094,472	3,810,600	23,776,392	19,965,792
4	CF4	10,681,920	23,969,988	13,288,068	3,810,600	23,969,988	20,159,388
5	CF5	10,681,920	24,163,584	13,481,664	3,810,600	24,163,584	20,352,984
6	CF6	10,681,920	24,357,180	13,675,260	3,810,600	24,357,180	20,546,580
7	CF7	10,681,920	24,550,776	13,868,856	3,810,600	24,550,776	20,740,176
8	CF8	10,681,920	24,744,372	14,062,452	3,810,600	24,744,372	20,933,772
9	CF9	10,681,920	24,937,968	14,256,048	3,810,600	24,937,968	21,127,368
10	CF10	10,681,920	25,131,564	14,449,644	3,810,600	25,131,564	21,320,964

ตาราง 22 (ต่อ)

ปีที่	Cash Flows	Gasifier จากแกลบ Cash Outflows	Gasifier จากแกลบ Cash Inflows	Gasifier จากแกลบ Net Cash Flows	Gasifier จากชานอ้อย Cash Outflows	Gasifier จากชานอ้อย Cash Inflows	Gasifier จากชานอ้อย Net Cash Flows
11	CF11	10,681,920	25,325,160	14,643,240	3,810,600	25,325,160	21,514,560
12	CF12	10,681,920	25,518,756	14,836,836	3,810,600	25,518,756	21,708,156
13	CF13	10,681,920	25,712,352	15,030,432	3,810,600	25,712,352	21,901,752
14	CF14	10,681,920	25,905,948	15,224,028	3,810,600	25,905,948	22,095,348
15	CF15	10,681,920	26,099,544	15,417,624	3,810,600	26,099,544	22,288,944
16	CF16	10,681,920	26,293,140	15,611,220	3,810,600	26,293,140	22,482,540
17	CF17	10,681,920	26,486,736	15,804,816	3,810,600	26,486,736	22,676,136
18	CF18	10,681,920	26,680,332	15,998,412	3,810,600	26,680,332	22,869,732
19	CF19	10,681,920	26,873,928	16,192,008	3,810,600	26,873,928	23,063,328
20	CF20	10,681,920	27,067,524	16,385,604	3,810,600	27,067,524	23,256,924
21	CF21	10,681,920	27,261,120	16,579,200	3,810,600	27,261,120	23,450,520
22	CF22	10,681,920	27,454,716	16,772,796	3,810,600	27,454,716	23,644,116
23	CF23	10,681,920	27,648,312	16,966,392	3,810,600	27,648,312	23,837,712
24	CF24	10,681,920	27,841,908	17,159,988	3,810,600	27,841,908	24,031,308
25	CF25	10,681,920	28,035,504	17,353,584	3,810,600	28,035,504	24,224,904
Summary		267,048,000	642,808,800		95,265,000	642,808,800	
IRR			35%			53%	

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าอัตราการตอบแทนภายใน ของโรงงานการผลิตกระแสไฟฟ้า/ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ไม่ได้มีการคิดคำนวณ กรณีสูญเสีย(Loss) ของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าทุกกรณี

2. งานวิจัยนี้ไม่ได้มีการคิดคำนวณ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และค่าจ้างในส่วนพนักงาน

โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าที่สามารถสร้างรายได้สูงสุดในระยะเวลา 25 ปี คือโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasifierจากชานอ้อย โดยสามารถสร้างกำไรโดยประมาณคือ 510.04 ล้านบาท คิดเป็นอัตรการตอบแทนภายใน 53 %, โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า Gasifier จากแกลบ โดยสามารถสร้างกำไรโดยประมาณคือ 338 ล้านบาท คิดเป็นอัตรการตอบแทนภายใน 35%, โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Polycrystalline โดยสามารถสร้างกำไรโดยประมาณคือ 216 ล้านบาท คิดเป็นอัตรการตอบแทนภายใน 16 % และโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์

แสงอาทิตย์แบบ Monocrystalline โดยสามารถสร้างกำไรโดยประมาณคือ 171 ล้านบาท คิดเป็นอัตรการตอบแทนภายใน 13 % ตามลำดับ(ไม่คิดค่าใช้จ่ายพนักงานและการบำรุงรักษาระบบ)

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้อ้างอิงราคาแกลบ 1,300 บาท/ตัน ราคาขานอ้อย 300 บาท/ตัน (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2558, อินเทอร์เน็ต)

2. ปัจจุบัน 2560 อ้างอิงราคาแกลบ 1,400 บาท/ตัน ราคาขานอ้อย 400-500 บาท/ตัน (การเกษตร My Green Gardens ,2560 ,อินเทอร์เน็ต)

3. ชี้แนะทางเลือกโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิต 1 MW ระยะเวลา 25 ปี คือ โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Monocrystalline เนื่องจากในออนาคตต้นทุนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลง ทำให้เพิ่มอัตรผลตอบแทนได้ ในขณะที่ปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีค่าน้อยมาก 0.0808 $kgCO_2$-eq /Kwh

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ก๊าซเรือนกระจกคืออะไร. (2558). *สำนักวิชาการพลังงานภาค 2 กระทรวงพลังงาน*. สืบค้น 15 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.onep.go.th/] : กรมพลังงาน.

ไกรลาศ เขียวทอง (2556). *หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 พืชพลังงานสีเขียว*. นครราชสีมา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์นครราชสีมา.

ไกรลาศ เขียวทอง. (2556). *คู่มือการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1*. สืบค้น 9 สิงหาคม 2558, จาก www.dld.go.th/pvlo_uta/images/stories/pagrad/napear1.pdf

คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. (2554). *แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของผลิตภัณฑ์ ภายใต้โครงการส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: อมรินทร์ พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. (2553). คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประพิธาร์ ธนารักษ์, และวิกานต์ วันสูงเนิน. (2556). *การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน (ระยะที่1)*. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยเรื่องเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์บนเว็บของไทย. (2552). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ห้องปฏิบัติการการประเมินวัฏจักรชีวิต. (2556). *การจัดทำบัญชีรายการวัฏจักรชีวิตของพืชผลการเกษตร*. สืบค้น 8 สิงหาคม 2558, จาก http://xa.yimg.com

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2557). *Emission Factor CFP*. สืบค้น 18 สิงหาคม 2558, จาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/carbonfootprint/index.php?page=9

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2558). *ก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยประจำปี 2553*. สืบค้น 20 สิงหาคม 2558, จาก http://conference.tgo.or.th/download/tgo_or_th/publication/GEF/2010/GEFReport_THrevise3.pdf

เอกวิทย์ ใยดี, สมชาย มณีวรรณ์, และฉันทนา พันธุ์เหล็ก. (2554). การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการปลูกอ้อย. ใน *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7* (น.605-610). กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

British Standards (2008). *Guide to PAS 2050 – How to assess the carbon footprint of goods and services*. London: Chiswick High Road.

M.J. (Mariska) de Wild-Scholten. (2013). *Energy Payback Time And Carbon Footprint Of Commercial Photovoltaic Systems*. Spain: Sitges.

Sate Sampattagul, Pranee Nutongkaew, & Tanongkiat Kiatsiriroat. (2011). Life cycle assessment of palm oil biodiesel production in Thailand. *International Journal of Renewable Energy*, *6*(1), 1-14.