

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต

ก1 ค่า Emission factor ของการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล

ตารางที่ ก.1 ค่า Emission factor ของการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล

รายการ	หน่วย	ค่า Emission Factor	แหล่งที่มา
ไฟฟ้า	kgCO _{2-eq} /kWh	0.6093	TGO Guidebook (2558)
น้ำมันดีเซล	kgCO _{2-eq} /kg	2.7446	TGO Guidebook (2558)
น้ำมันดีเซล (การเผาไหม้)	kgCO _{2-eq} /L	0.3282	TGO Guidebook (2558)
น้ำมันหล่อลื่น	kgCO _{2-eq} /kg	0.8319	TGO Guidebook (2558)
สารทำความเย็น R245fa	kgCO _{2-eq} /kg	103.33	TGO Guidebook (2558)
การรั่วไหลของสารทำความเย็น R245fa	kgCO _{2-eq} /kg	1030.00	IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007
ปูนขาว	kgCO _{2-eq} /kg	0.7820	TGO Guidebook (2558)
น้ำ	kgCO _{2-eq} /m ³	0.7043	TGO Guidebook (2558)
NaOH 50%	kgCO _{2-eq} /kg	1.1148	TGO Guidebook (2558)
HCL	kgCO _{2-eq} /kg	0.4094	TGO Guidebook (2558)
การเผาไหม้ RDF-5	kgCO _{2-eq} /kg	0.2505	การคำนวณตาม IPCC
การเผาไหม้ขยะ	kgCO _{2-eq} /kg	0.6855	การคำนวณตาม IPCC
การเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ	kgCO _{2-eq} /m ³	0.0011	การคำนวณตาม IPCC
การฝังกลบ	kgCO _{2-eq} /kg	2.3200	TGO Guidebook (2558)
การหมักทำปุ๋ย	kgCO _{2-eq} /kg	0.1638	TGO Guidebook (2558)
น้ำชะขยะ	kgCO _{2-eq} /kg	0.0001	TGO Guidebook (2558)
การจัดการเถ้า	kgCO _{2-eq} /kg	2.3200	TGO Guidebook (2558)

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต

ข1 ค่าพลังงานของปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล

ตารางที่ ข.1 ค่าพลังงานปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล

รายการ	หน่วย	ค่าพลังงาน	แหล่งที่มา
ไฟฟ้า	MJ/kWh	9.71	Ecoinvent 2.0
น้ำมันดีเซล	MJ/kg	56.66	Ecoinvent 2.0
น้ำมันหล่อลื่น	MJ/kg	16.00	Ecoinvent 2.0
สารทำความเย็น R245fa	MJ/kg	51.04	Ecoinvent 2.0
ปูนขาว	MJ/kg	0.45	Ecoinvent 2.0
น้ำ	MJ/kg	0.58	Ecoinvent 2.0
NaOH 50%	MJ/kg	9.21	Ecoinvent 2.0
HCL	MJ/kg	4.78	Ecoinvent 2.0

ข2 วิธีคำนวณหาค่าพลังงาน

การคำนวณหาค่าพลังงาน คำนวณจากการนำปริมาณพลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในการผลิตคูณด้วยค่าพลังงานความร้อนของพลังงานปฐมภูมิ โดยค่าพลังงานความร้อนของพลังงานปฐมภูมิ แสดงดังตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 ค่าพลังงานความร้อน

รายการ	หน่วย	ค่าพลังงานความร้อน	แหล่งที่มา
น้ำมันดีเซล	MJ/L	36.42	กระทรวงพลังงาน (2551)
น้ำมันเบนซิน	MJ/L	31.48	กระทรวงพลังงาน (2551)
ก๊าซธรรมชาติ	MJ/kg	33.07	กระทรวงพลังงาน (2551)
ถ่านหิน	MJ/kg	26.37	กระทรวงพลังงาน (2551)
พลังงานน้ำ	MJ/L	0.01	Ecoinvent (2006)

ตารางที่ ข.2 ค่าพลังงานความร้อน (ต่อ)

รายการ	หน่วย	ค่าพลังงานความร้อน	แหล่งที่มา
น้ำมันดิบ	MJ/L	39.70	กระทรวงพลังงาน (2551)
น้ำมันเตา (Heavy Fuel Oil)	MJ/L	43.07	กระทรวงพลังงาน (2551)
น้ำมันเตา (Light Fuel Oil)	MJ/L	34.53	กระทรวงพลังงาน (2551)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

ค1 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต

การวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตจะใช้การประเมินจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การเก็บรวบรวมขยะจนถึงการผลิตไฟฟ้าออกมา ซึ่งผลจะแสดงออกมาในรูปของก๊าซเรือนกระจกในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ในกรณีนี้จะยกตัวอย่างการคำนวณของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ โดยมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

ค.1.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

1) การเก็บรวบรวมขยะ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการเก็บรวบรวมขยะ มาจากการใช้น้ำมันดีเซลในการเก็บขนและการเผาไหม้น้ำมันดีเซลที่ใช้ในการเก็บขน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$GHG_{emission} = \left(5.43E-04 \frac{kg}{kWh} \times 0.3282 \frac{kgCO_2-eq}{kg} \right) + \left(4.61E-04 \frac{Liter}{kWh} \times 2.7446 \frac{kgCO_2-eq}{Liter} \right)$$
$$= 1.45E-03 \text{ kgCO}_2\text{-eq/kWh}$$

2) การคัดแยกขยะ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการคัดแยกขยะ มาจากการใช้ไฟฟ้าในการคัดแยกและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ช่วยในการคัดแยก สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$GHG_{emission} = \left(4.68E-03 \frac{kWh}{kWh} \times 0.6093 \frac{kgCO_2-eq}{kWh} \right) + \left(9.75E-06 \frac{kg}{kWh} \times 0.8319 \frac{kgCO_2-eq}{kg} \right)$$
$$= 2.86E-03 \text{ kgCO}_2\text{-eq/kWh}$$

2) การผลิต RDF-5

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิต RDF-5 มาจากการใช้ปูนขาวในการผลิต RDF-5 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$GHG_{emission} = \left(2.92E-02 \frac{kg}{kWh} \times 0.7820 \frac{kgCO_2-eq}{kg} \right)$$

$$= 0.02 \text{ kgCO}_{2-eq}/kWh$$

ค.1.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิต สามารถคำนวณดังนี้

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิตนั้น แบ่งเป็น 2 กระบวนการ ได้แก่

1) กระบวนการผลิต RDF-5 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะมาจากการใช้ไฟฟ้าในการผลิต RDF-5 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$GHG_{emission} = \left(8.13E-02 \frac{kWh}{kWh} \times 0.6093 \frac{kgCO_2-eq}{kWh} \right)$$

$$= 0.04 \text{ kgCO}_{2-eq}/kWh$$

2) กระบวนการผลิตไฟฟ้า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาจากการเผาไหม้ RDF-5 การใช้ น้ำมันหล่อลื่น การใช้สารทำความเย็น R245fa และการรั่วไหลของสารทำความเย็น R245fa สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$GHG_{emission} = \left(1.82 \frac{kg}{kWh} \times 0.2505 \frac{kgCO_2-eq}{kg} \right) + \left(1.28E-04 \frac{kg}{kWh} \times 0.8319 \frac{kgCO_2-eq}{kg} \right)$$

$$= + \left(5.08E-05 \frac{kg}{kWh} \times 103.3316 \frac{kgCO_2-eq}{kg} \right) + \left(5.08E-05 \frac{kg}{kWh} \times 1030 \frac{kgCO_2-eq}{kg} \right)$$

$$= 0.56 \text{ kgCO}_{2-eq}/kWh$$

ค.1.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการขนส่ง

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการขนส่งนั้น มีรายละเอียดดังนี้

1) การขนส่งขยะเพื่อใช้ในการผลิต RDF-5 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$GHG_{emission} = \left(\frac{1.80 \frac{kg}{kWh} \times 16.81km}{1000 kg} \times 0.0472 \frac{kgCO_2-eq}{tkm} \right) +$$

$$= \left(\left(\frac{1.80 \frac{kg}{kWh} \times 16.81km}{1000 kg} \div 16ton \right) \times 0.4982 \frac{kgCO_2-eq}{km} \right)$$

$$= 0.0023 \text{ kgCO}_{2-eq}/kWh$$

2) การขนส่งปูนขาวเพื่อใช้ในการผลิต RDF-5 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 GHG_{emission} &= \left(\frac{2.92E-02 \frac{kg}{kWh} \times 10km}{1000 kg} \times 0.1824 \frac{kgCO_2 - eq}{tkm} \right) + \\
 &= \left(\left(\frac{2.92E-02 \frac{kg}{kWh} \times 10km}{1000 kg} \right) \div 7ton \right) \times 0.3324 \frac{kgCO_2 - eq}{km} \\
 &= 0.0001 \text{ kgCO}_{2-eq}/kWh
 \end{aligned}$$

3) การขนส่งสารทำความเย็น R245fa เพื่อใช้เป็นทรัพยากรช่วยในการผลิตไฟฟ้า สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 GHG_{emission} &= \left(\frac{5.08E-05 \frac{kg}{kWh} \times 20km}{1000 kg} \times 0.1824 \frac{kgCO_2 - eq}{tkm} \right) + \\
 &= \left(\left(\frac{5.08E-05 \frac{kg}{kWh} \times 10km}{1000 kg} \right) \div 7ton \right) \times 0.3324 \frac{kgCO_2 - eq}{km} \\
 &= 2.33E-07 \text{ kgCO}_{2-eq}/kWh
 \end{aligned}$$

4) การขนส่งน้ำมันหล่อลื่นเพื่อใช้เป็นทรัพยากรช่วยในการผลิตไฟฟ้า สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 GHG_{emission} &= \left(\frac{1.24E-04 \frac{kg}{kWh} \times 10km}{1000 kg} \times 0.1824 \frac{kgCO_2 - eq}{tkm} \right) + \\
 &= \left(\left(\frac{1.24E-04 \frac{kg}{kWh} \times 10km}{1000 kg} \right) \div 7ton \right) \times 0.3324 \frac{kgCO_2 - eq}{km} \\
 &= 2.94E-07 \text{ kgCO}_{2-eq}/kWh
 \end{aligned}$$

จากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถแสดงปริมาณการใช้ทรัพยากร พลังงานของเสียที่ออกมา ค่า Emissions Factor และผลการคำนวณ ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ค.1 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบต่อหน่วยการทำงาน

กระบวนการ	ปริมาณ	หน่วย	ค่า Emission Factor (กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่าต่อหน่วย)	ปริมาณ การปล่อย ก๊าซเรือนกระจก (กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า)
การเก็บขนขยะ				
น้ำมันดีเซล	1.49E-03	กิโลกรัม	2.7446	4.09E-03
น้ำมันดีเซล (การเผาไหม้)	1.75E-03	ลิตร	0.3282	5.74E-04
การคัดแยกขยะ				
ไฟฟ้า	1.51E-02	กิโลวัตต์ ชั่วโมง	0.6093	9.20E-03
น้ำมันหล่อลื่น	3.15E-05	กิโลกรัม	0.8319	2.63E-05
การผลิต RDF-5				
ปูนขาว	2.92E-02	กิโลกรัม	2.2505	4.57E-01

จากตารางที่ ค.1 จะเห็นได้ว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าเท่ากับ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ คูณกับค่า Emission Factor หลังจากนั้นจะทำการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนของการผลิตต่อ ดังแสดงในตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิตต่อหน่วยการทำงาน

กระบวนการ	ปริมาณ	หน่วย	ค่า Emission Factor (กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่าต่อหน่วย)	ปริมาณ การปล่อย ก๊าซเรือนกระจก (กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า)
การผลิต RDF-5				
ไฟฟ้า	8.13E-02	กิโลวัตต์ ชั่วโมง	0.6093	4.95E-02
การผลิตไฟฟ้า				
RDF-5(การเผาไหม้)	1.82E+00	กิโลกรัม	2.2505	4.57E-01
สารทำความสะอาด R245fa	5.08E-05	กิโลกรัม	103.33	5.24E-03
น้ำมันหล่อลื่น	1.28E-04	กิโลกรัม	0.8319	1.06E-04
สารทำความสะอาด R245fa (การรั่วไหล)	5.08E-05	กิโลกรัม	1030.00	5.23E-02
น้ำมันหล่อลื่น	1.28E-04	กิโลกรัม	0.8319	1.06E-04

นอกจากนี้จะต้องมีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วย โดยมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ ค.3 ระยะทางและภาระบรรทุกการขนส่งต่อหน่วยการทำงาน

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ระยะทาง ในการขนส่ง (กิโลเมตร)	ภาระบรรทุก ขาไป (ตันกิโลเมตร)	ภาระบรรทุก จากกลับ (กิโลเมตร)
ขยะ	3.18E-05	กิโลกรัม	16.81	3.02E-02	1.89E-03
น้ำมันดีเซล	1.49E-03	กิโลกรัม	10		
ปูนขาว	2.92E-02	กิโลกรัม	10	2.92E-04	4.17E-05
สารทำความสะอาด เย็น R245fa	5.08E-05	กิโลกรัม	40	2.03E-06	2.90E-07
น้ำมันหล่อลื่น	1.82E-04	กิโลกรัม	10	1.28E-06	1.83E-07

จากตารางที่ ค.3 จะเห็นว่าจะต้องมีการคำนวณหาภาระบรรทุกจากระยะทางคูณกับน้ำหนักบรรทุก ก่อน จากนั้นจะนำภาระบรรทุกที่ได้ไปคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัตถุดิบ นั้น เพื่อให้ได้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังแสดงในตารางที่ ค.4

ตารางที่ ค.4 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการขนส่งต่อหน่วยการทำงาน

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor (กิโลกรัม คาร์บอนไดออก ไซด์เทียบเท่า ต่อหน่วย)	Emission Factor (กิโลกรัม คาร์บอนไดออก ไซด์เทียบเท่า ต่อหน่วย)	ปริมาณ การปล่อย ก๊าซเรือนกระจก (กิโลกรัม คาร์บอนไดออก ไซด์เทียบเท่า)
ขยะ	3.18E-05	กิโลกรัม	0.0472	0.4892	2.35E-03
น้ำมันดีเซล	1.49E-03	กิโลกรัม	0.0451	0.5711	4.09E-03
ปูนขาว	2.92E-02	กิโลกรัม	0.1402	0.3111	5.39E-05
สารทำความสะอาด	5.08E-05	กิโลกรัม	0.1402	0.3111	3.75E-07
เย็น R245fa					
น้ำมันหล่อลื่น	1.82E-04	กิโลกรัม	0.1402	0.3111	2.36E-07

ค2 การคำนวณหาค่าพลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต

การวิเคราะห์พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตจะใช้การประเมินจากปริมาณการใช้พลังงานใน กระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งผลจะแสดงออกมาในรูปของพลังงานใน หน่วยเมกะจูล ในกรณีนี้จะยกตัวอย่างการคำนวณของการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิต ไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแ่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดัน สารอินทรีย์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ค.1.1 การใช้พลังงานในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

1) การเก็บรวบรวมขยะ

การใช้พลังงานในขั้นตอนการเก็บรวบรวมขยะ มาจากการใช้น้ำมันดีเซลในการเก็บขน สามารถ คำนวณได้ดังนี้

$$EC_{diesel} = \left(5.43E-04 \frac{Liter}{kWh} \times 56.70 \frac{MJ}{Liter} \right) = 1.45E-03 \text{ MJ/kWh}$$

2) การคัดแยกขยะ

การใช้พลังงานในขั้นตอนการคัดแยกขยะ มาจากการใช้ไฟฟ้าในการคัดแยกและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ช่วยในการคัดแยก สามารถคำนวณได้ดังนี้

■ น้ำมันหล่อลื่น

$$EC_{lubric} = 9.75E-06 \frac{kg}{kWh} \times 16.00 \frac{MJ}{kg} = 1.56E-04 \text{ MJ/kWh}$$

■ ไฟฟ้า

$$EC_{electric} = 4.68E-03 \frac{kWh}{kWh} \times 10.10 \frac{MJ}{kWh} = 4.73E-02 \text{ MJ/kWh}$$

2) การผลิต RDF-5

การใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิต RDF-5 มาจากการใช้ปูนขาวในการผลิต RDF-5 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$EC_{lime} = \left(2.92E-02 \frac{kg}{kWh} \times 0.46 \frac{MJ}{kg} \right) = 0.01 \text{ MJ/kWh}$$

ค.1.2 การใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิต

การใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตนั้น แบ่งเป็น 2 กระบวนการ ได้แก่

1) กระบวนการผลิต RDF-5 การใช้พลังงานมาจากการใช้ไฟฟ้าในการผลิต RDF-5 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$EC_{electric} = \left(8.13E-02 \frac{kWh}{kWh} \times 10.10 \frac{MJ}{kWh} \right) = 0.82 \text{ MJ/kWh}$$

2) กระบวนการผลิตไฟฟ้า การใช้พลังงานมาจากการใช้น้ำมันหล่อลื่นและการใช้สารทำความเย็น R245fa สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} EC &= \left(1.28E-04 \frac{kg}{kWh} \times 16 \frac{MJ}{kg} \right) + \left(5.08E-05 \frac{kg}{kWh} \times 36.3 \frac{MJ}{kg} \right) \\ &= 3.89E-03 \text{ MJ/kWh} \end{aligned}$$

จากการคำนวณปริมาณการใช้พลังงาน สามารถแสดงปริมาณการใช้ทรัพยากร พลังงาน ของเสียที่ออกมา ค่า Emissions Factor และผลการคำนวณ ดังตารางที่ ค.5

ตารางที่ ค.5 การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ต่อหน่วยการทำงาน

กระบวนการ	ปริมาณ	หน่วย	ค่าพลังงาน (เมกะจูลต่อหน่วย)	ปริมาณ การใช้พลังงาน (เมกะจูล)
การเก็บขนขยะ				
น้ำมันดีเซล	1.49E-03	กิโลกรัม	56.7000	8.43E-02
การคัดแยกขยะ				
ไฟฟ้า	1.51E-02	กิโลวัตต์ ชั่วโมง	9.7148	1.47E-01
น้ำมันหล่อลื่น	3.15E-05	กิโลกรัม	16.0000	5.03E-04
การผลิต RDF-5				
ปูนขาว	2.92E-02	กิโลกรัม	0.4556	1.33E-02
ไฟฟ้า	8.13E-02	กิโลวัตต์ ชั่วโมง	9.7148	7.90E-01
การผลิตไฟฟ้า				
สารทำความสะอาด R245fa	5.08E-05	กิโลกรัม	51.0400	2.59E-03
น้ำมันหล่อลื่น	1.28E-04	กิโลกรัม	16.0000	2.05E-03

จากตารางที่ ค.5 จะเห็นได้ว่า ปริมาณการใช้พลังงานมีค่าเท่ากับ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้คูณกับค่าพลังงาน ซึ่งเป็นค่าที่รวมการได้มาและการขนส่งแล้ว

ค3 ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

การวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตจะใช้การประเมินต้นทุนในกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งผลจะแสดงออกมาในรูปของเงินในหน่วยบาท ในกรณีนี้จะยกตัวอย่างการคำนวณของเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ โดยมีรายละเอียดผลการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ ค.6

ตารางที่ ก.6 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

กระบวนการ	จำนวนเงิน	หน่วย
A. เงินลงทุน	1,600,203,428	บาท
B. ค่าดำเนินการ (5% ของเงินลงทุน)	80,010,171	บาท/ปี
C. มูลค่าซาก (10% ของเงินลงทุน)	160,020,343	บาท
A+B-C	3,040,386,513	บาท

จากตารางที่ ก.6 จะเห็นได้ว่า ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ หาได้จากเงินลงทุนบวกกับค่าเงินการลบกับรายได้จากการขายไฟ รายได้จากการรับกำจัดขยะ และมูลค่าซาก ทำให้มีต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตเท่ากับ 3,040,386,513 บาท และเมื่อนำมาคำนวณหาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตต่อหน่วยการทำงานโดยการนำต้นทุนทั้งหมดหารกับจำนวนไฟฟ้าที่ผลิตได้ พบว่า ต้นทุนต่อหน่วยการทำงานของการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ เท่ากับ 2.94 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

ก4 ตัวอย่างการคำนวณการตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

การคำนวณการตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการให้น้ำหนักความสำคัญโดยน้ำหนักความสำคัญที่ใช้กำหนดมาตราส่วนในการเปรียบเทียบดังนี้

ถ้า $a_{ij} = \frac{1}{3}$ หมายถึง ปัจจัย A_i มีความสำคัญน้อยกว่า A_j

ถ้า $a_{ij} = 1$ หมายถึง ปัจจัย A_i และ A_j มีความสำคัญเท่ากัน

ถ้า $a_{ij} = 3$ หมายถึง ปัจจัย A_i มีความสำคัญมากกว่า A_j

จากนั้นสร้างตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเป็นคู่ และใส่ผลการให้น้ำหนักความสำคัญที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ ก.7

ตารางที่ ค.7 ตัวอย่างการให้น้ำหนักความสำคัญจากผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต

	Incineration	AD	LFG	RDF + Gasification	RDF + ORC
A. Incineration	1	3	3	3	3
B. AD	1/3	1	3	1/3	1/3
C. LFG	1/3	1/3	1	1/3	1/3
D. RDF+Gasification	1/3	3	3	1	3
E. RDF+ORC	1/3	3	3	1/3	1
(A+B+C+D+E)	2.33	10.33	13.00	5.00	7.67

คำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การประเมิน โดยการปรับ “ผลรวม” ของแต่ละคอลัมน์ให้เท่ากับ 1 จากการนำน้ำหนักที่ได้ในแต่ละเทคโนโลยีไปหารกับผลรวมของน้ำหนักที่ได้ในเทคโนโลยีนั้น ดังตารางที่ ค.8 และผลการให้น้ำหนักความสำคัญในด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ของนักวิจัยแสดงดังตารางที่ ค.9 โดยตัวอย่างการคำนวณค่าการให้น้ำหนักของเทคโนโลยีเตาเผาสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Weight_{Incineration} = \frac{1}{2.33} = 0.13$$

ตารางที่ ค.8 ตัวอย่างการปรับค่าผลรวมการให้น้ำหนักความสำคัญจากผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต

	Incineration	AD	LFG	RDF + Gasification	RDF + ORC	Total
A. Incineration	0.13	0.04	0.03	0.29	0.23	1.00
B. AD	0.39	0.13	0.29	0.29	0.23	1.00
C. LFG	0.39	0.04	0.10	0.29	0.23	1.00
D. RDF+Gasification	0.04	0.39	0.29	0.10	0.23	1.00
E. RDF+ORC	0.04	0.39	0.29	0.03	0.08	1.00
(A+B+C+D+E)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ ก.9 ตัวอย่างการให้น้ำหนักความสำคัญจากนักวิจัย

เกณฑ์	F.พลังงาน	G.สิ่งแวดล้อม	H.ต้นทุน	(F+G+H)
A. พลังงาน	0.23	0.20	0.43	0.286
B. สิ่งแวดล้อม	0.69	0.60	0.43	0.574
C. ต้นทุน	0.08	0.20	0.14	0.140
(A+B+C)	1.00	1.00	1.00	1.00

จากนั้นก็คำนวณผลรวมของแต่ละแถว และหารผลรวมดังกล่าวด้วย “จำนวน” ของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ ซึ่งในกรณีนี้คือ 3 ประกอบด้วย พลังงาน สิ่งแวดล้อม และต้นทุน ดังตารางที่ ก.10 โดยตัวอย่างการคำนวณค่าการให้น้ำหนักของเทคโนโลยีเตาเผาในด้านพลังงาน แสดงดังนี้

$$Weight_{Energy, Incineration} = 3.09 * 0.286 = 0.11$$

ตารางที่ ก.10 ตัวอย่างผลการให้น้ำหนักความสำคัญทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

ทางเลือก	พลังงาน	สิ่งแวดล้อม	เศรษฐศาสตร์	Total	ร้อยละ
A. Incineration	0.11	0.08	0.01	0.205	20.54%
B. AD	0.03	0.15	0.03	0.212	21.22%
C. LFG	0.02	0.12	0.06	0.202	20.17%
D. RDF+Gasification	0.07	0.12	0.02	0.210	20.96%
E. RDF+ORC	0.05	0.10	0.03	0.171	17.11%
(A+B+C+D+E)	0.286	0.574	0.140	1.000	100.00%

เมื่อได้ผลรวมของน้ำหนักทั้งหมดแล้วก็ปรับค่าผลการให้น้ำหนักให้อยู่ในรูปของร้อยละ โดยนำไปคูณกับ 100

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการจัดทำ Verification Sheet ในการคำนวณ

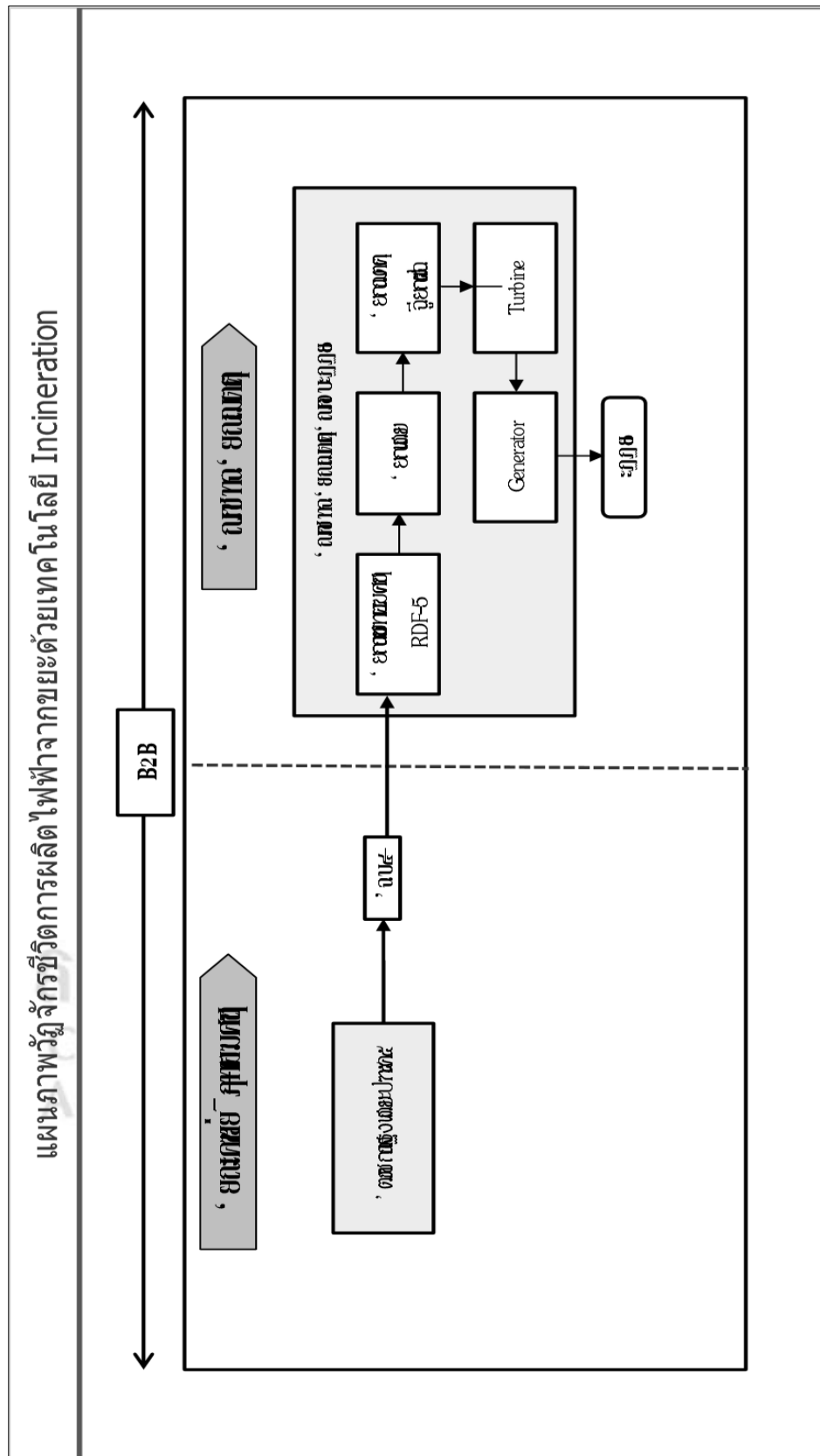
ในการจัดทำ Verification Sheet ประกอบไปด้วย 5 Sheet ได้แก่ Sheet 1: เป็นการจัดทำข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษ เช่น ชื่อผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา หน่วยหน้าที่การทำงาน และรูปภาพ เป็นต้น, Sheet 2: เป็นการจัดทำแผนผังวัฏจักรชีวิตที่ทำการศึกษา, Sheet 3: เป็นการจัดทำแผนผังของกระบวนการผลิตที่ทำการศึกษา, Sheet 4: เป็นการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง และระบบสนับสนุน, และ Sheet 5: เป็นการสรุปผลการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการจัดทำ Verification Sheet ของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วย 5 เทคโนโลยี ประกอบด้วย เทคโนโลยีเตาเผาขยะ เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ เทคโนโลยีแท่งเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิง และเทคโนโลยีแท่งเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ รายละเอียดในการจัดทำ Verification Sheet ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

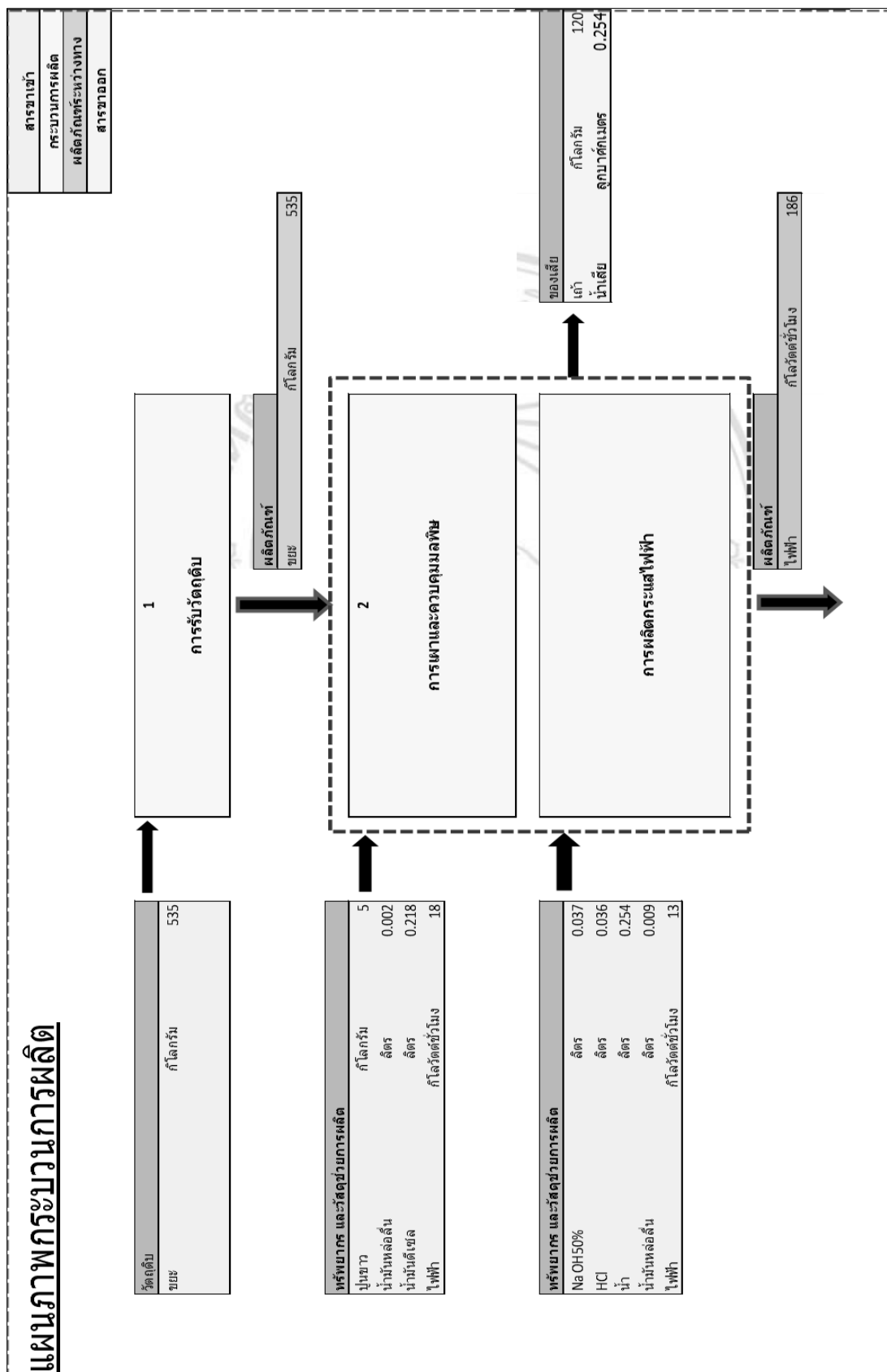
1) การจัดทำข้อมูลทั่วไป

[illegible]

2) การจัดทำแผนภาพกระบวนการผลิต



3) การสมดุลมวลและสมดุลพลังงานของสารขาเข้าและสารขาออก



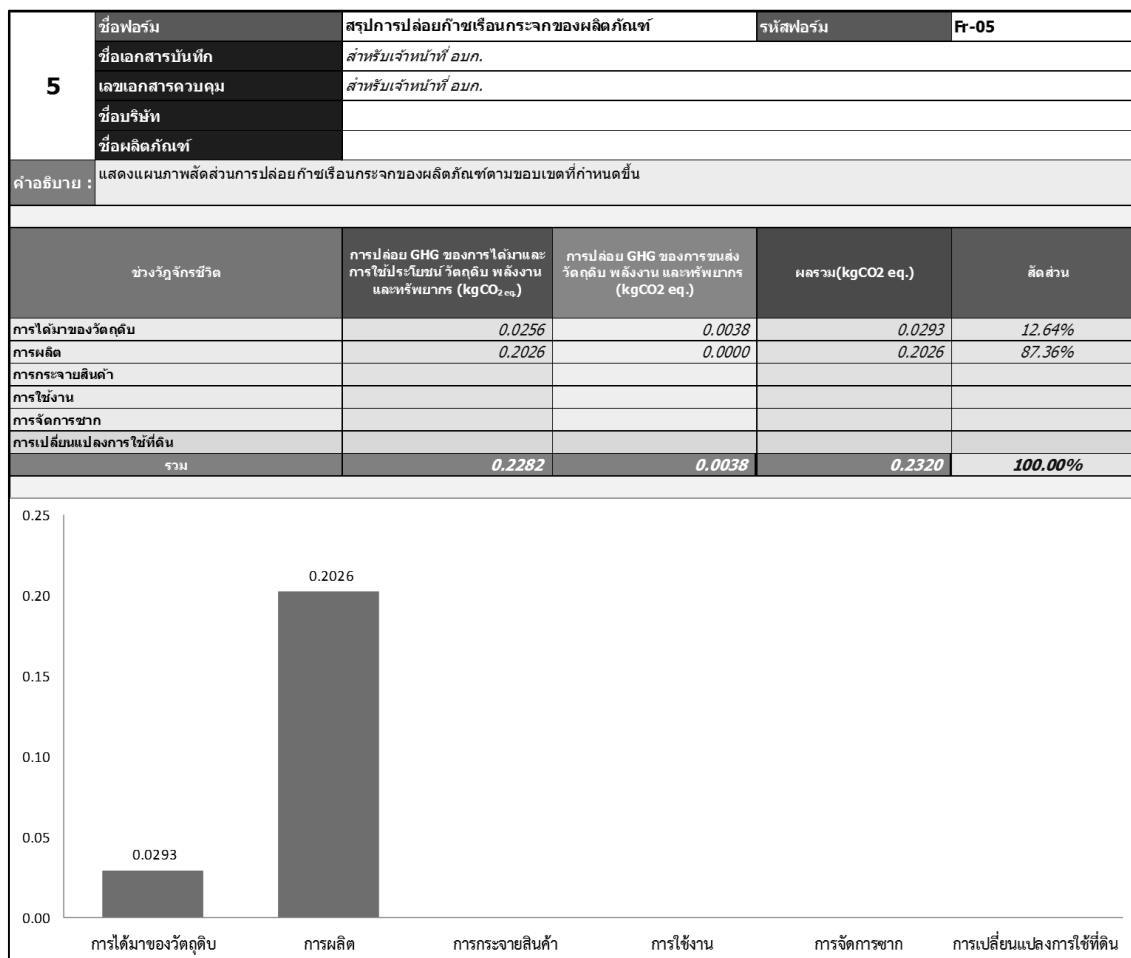
4) การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิต

[illegible]

6) การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระบบสนับสนุน

[illegible]

7) การแสดงผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

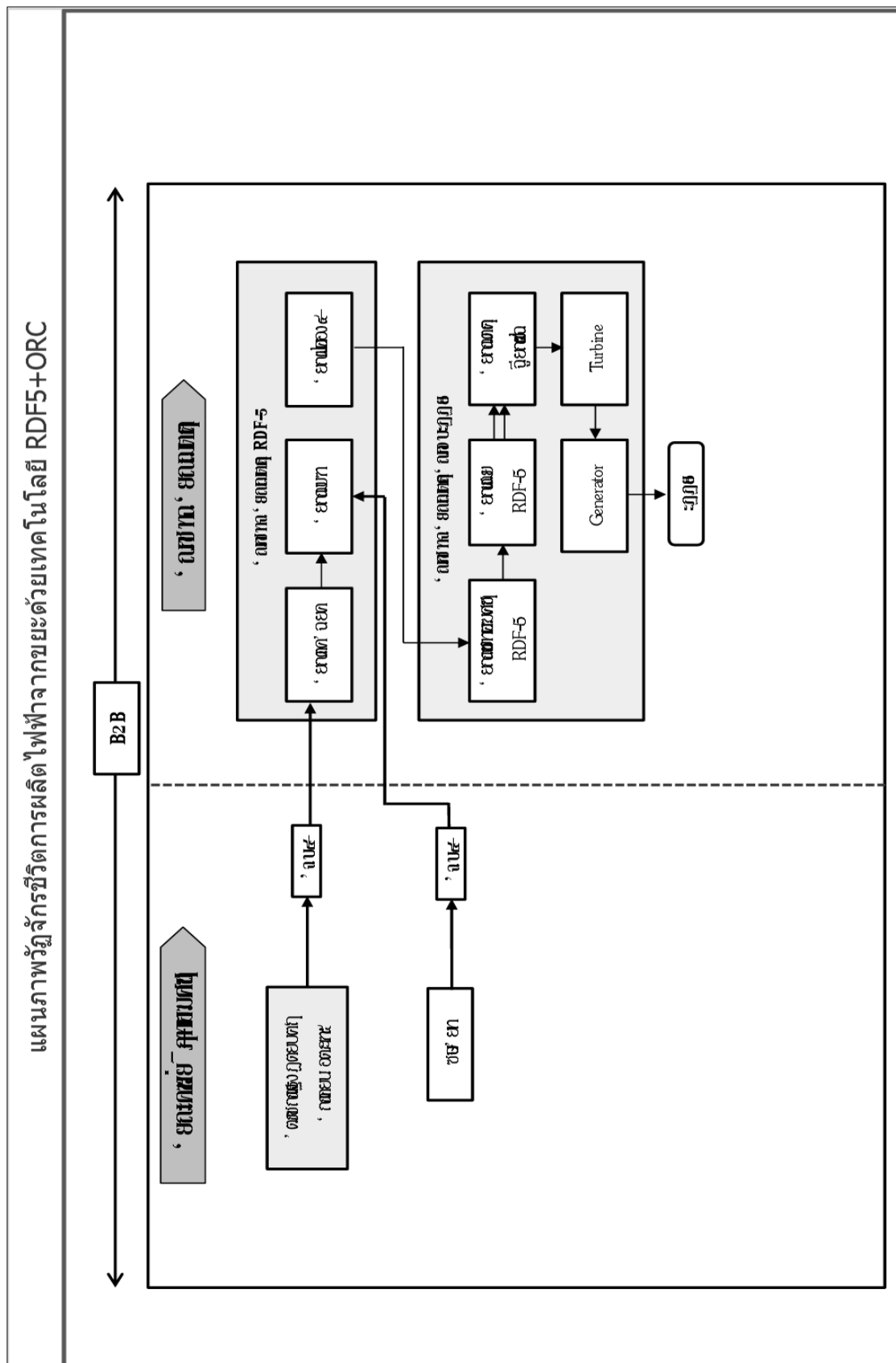


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

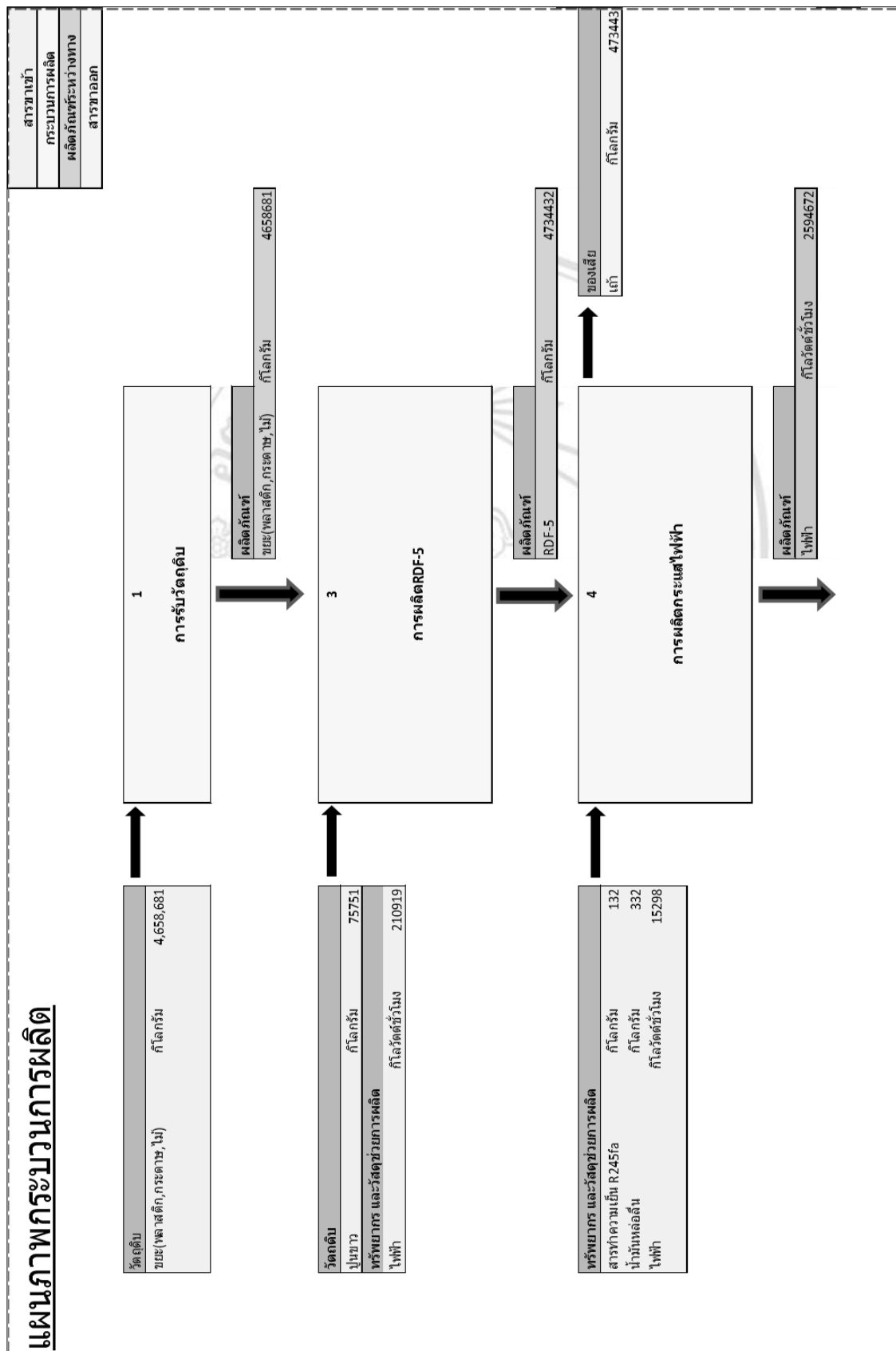
1) การจัดทำข้อมูลทั่วไป

146

2) การจัดทำแผนภาพกระบวนการผลิต



3) การสมดุลมวลและสมดุลพลังงานของสารขาเข้าและสารขาออก



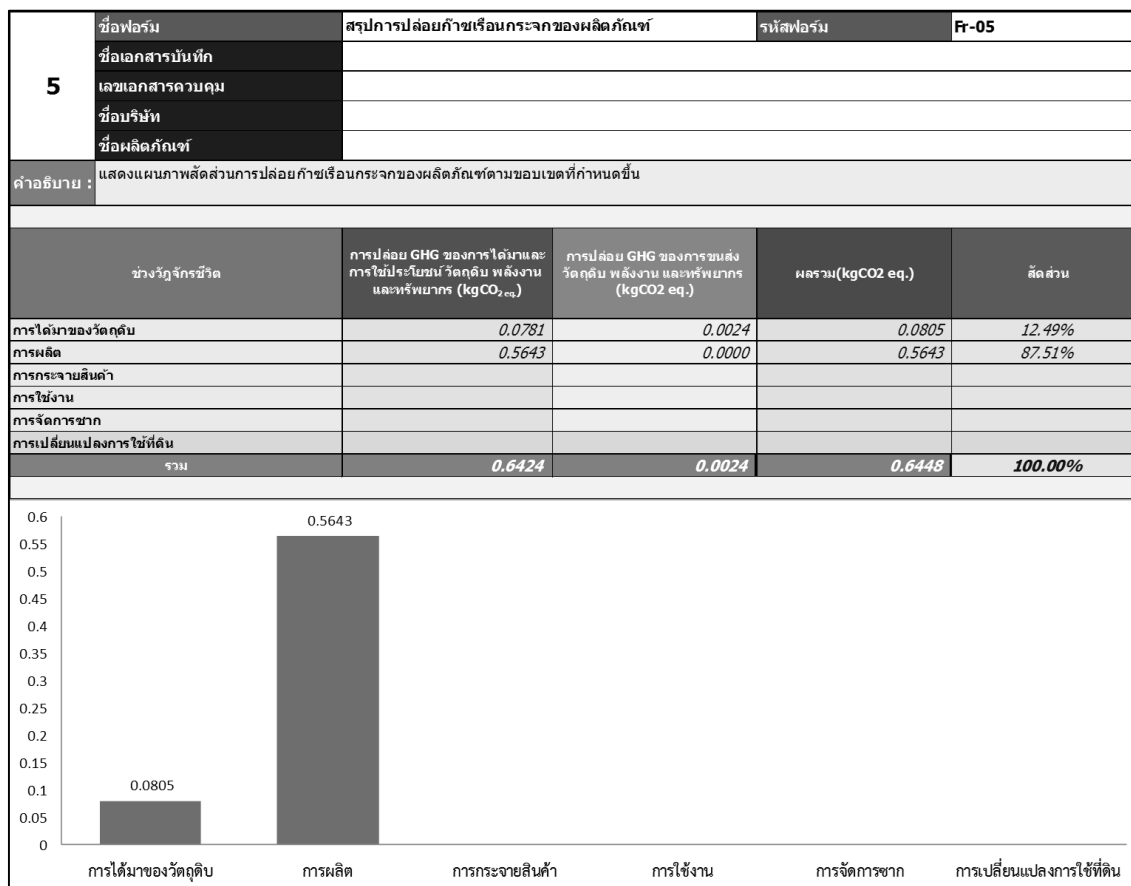
4) การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิต

4.1	ชื่อโครงการ ชื่อผลิตภัณฑ์	การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัตถุดิบ										รหัสตัวแปร	Fr-04.1				
		ข้อมูลสารป้อนเข้า															
		หมวดหมู่สารป้อนเข้า															
หมายเหตุ EF ของวัตถุดิบบางรายการ ไม่ได้อยู่ในประเภทแหล่งที่มาของ EF และสามารถอ้างอิงได้ และหากไม่มี EF ที่เหมาะสม โดยให้ระบุในหน่วยตาม ตัวเลข และคำนวณสมรรถนะของวัตถุดิบในหน่วยตาม																	
รายการ	หน่วย	ค่า LCI		หน่วย/ FU	แหล่งที่มาของค่า LCI	ค่า EF (kg CO2 eq./หน่วย)	Substitute					การคำนวณ (%)	ผลคูณ	สัดส่วน (%)	Out-let	ค่าอื่นที่เกี่ยวข้อง	
		ประเภท	ปริมาณ				Self-est	Supply	PCR G	TOE G	Int. G						Others
1. การรับวัตถุดิบ สารละลาย (ชนิดผง)	kg	4,658.681	1.80E+00	kg	สารละลาย, วัตถุดิบ และประเภทของสารละลาย	0.0308	✓							0.0553	70.77%		
2. การผลิต ROPF สารละลาย (ชนิดผง)	kg	75.751	2.92E-02	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alterna	0.7820				✓				0.0218	29.13%		
3. การรับวัตถุดิบ สารละลาย (ชนิดผง)	kg	1.80E+00		kg										0.0781	100.00%		
1. การรับวัตถุดิบ สารละลาย (ชนิดผง)	kg	4,658.681	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
2. การผลิต ROPF สารละลาย (ชนิดผง)	kg	75.751	2.92E-02	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
3. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
4. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
5. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
6. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
7. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
8. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
9. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
10. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
11. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
12. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
13. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
14. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
15. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
16. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
17. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
18. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
19. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
20. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
21. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
22. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00	kg	C.Natagorn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand, Naresuan University Journal: Science and Technology 2015												
23. การผลิตไฟฟ้า ROPF-5 (ชนิดผง)	kg	4,734.432	1.80E+00														

6) การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระบบสนับสนุน

[illegible]

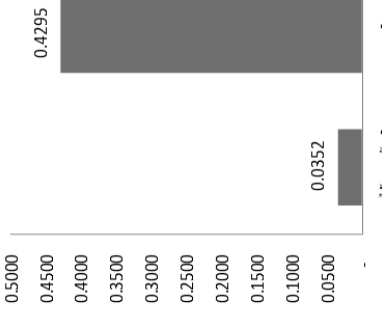
7) การแสดงผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก



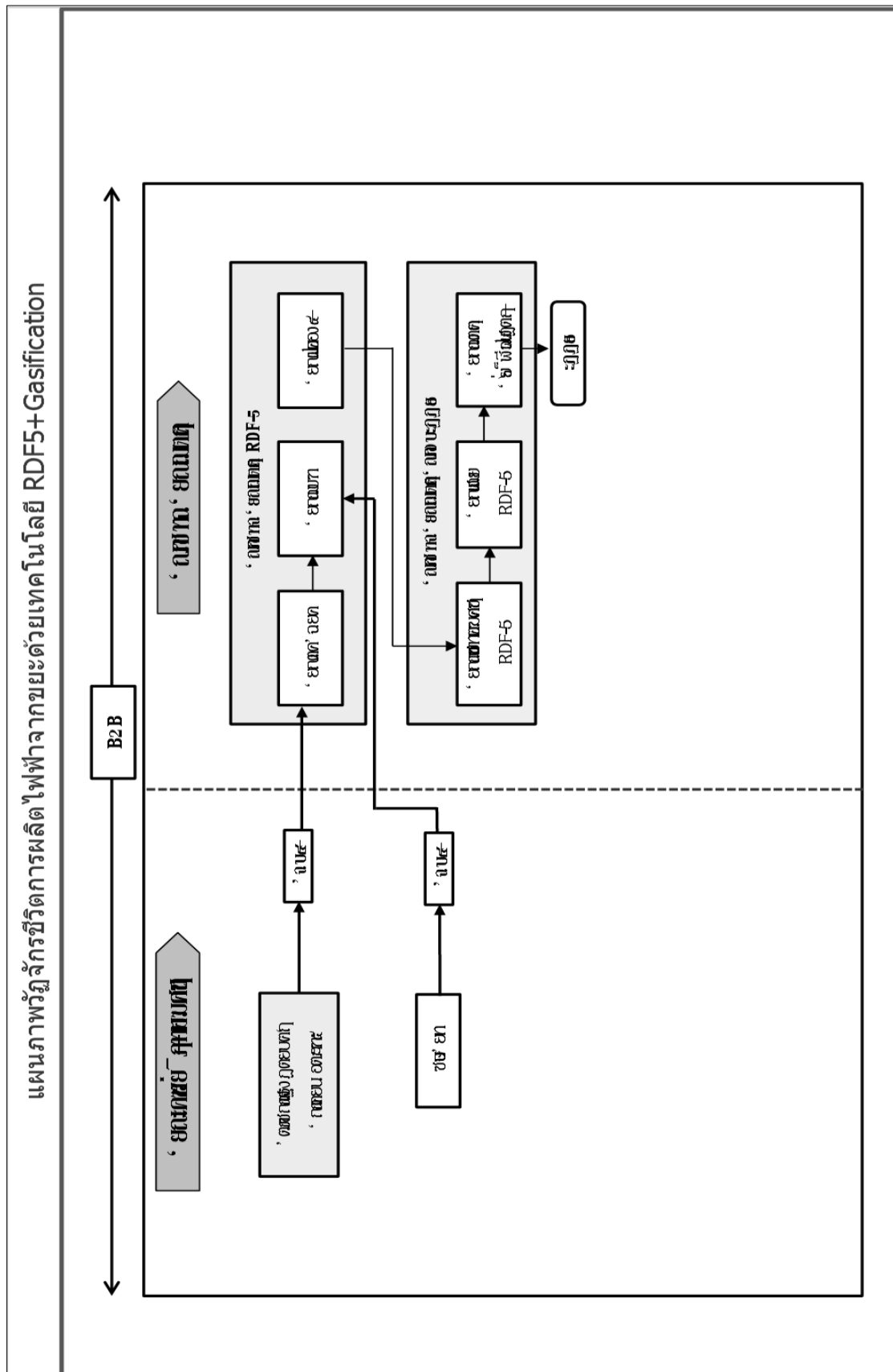
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ง.3 การจัดทำ Verification Sheet ของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

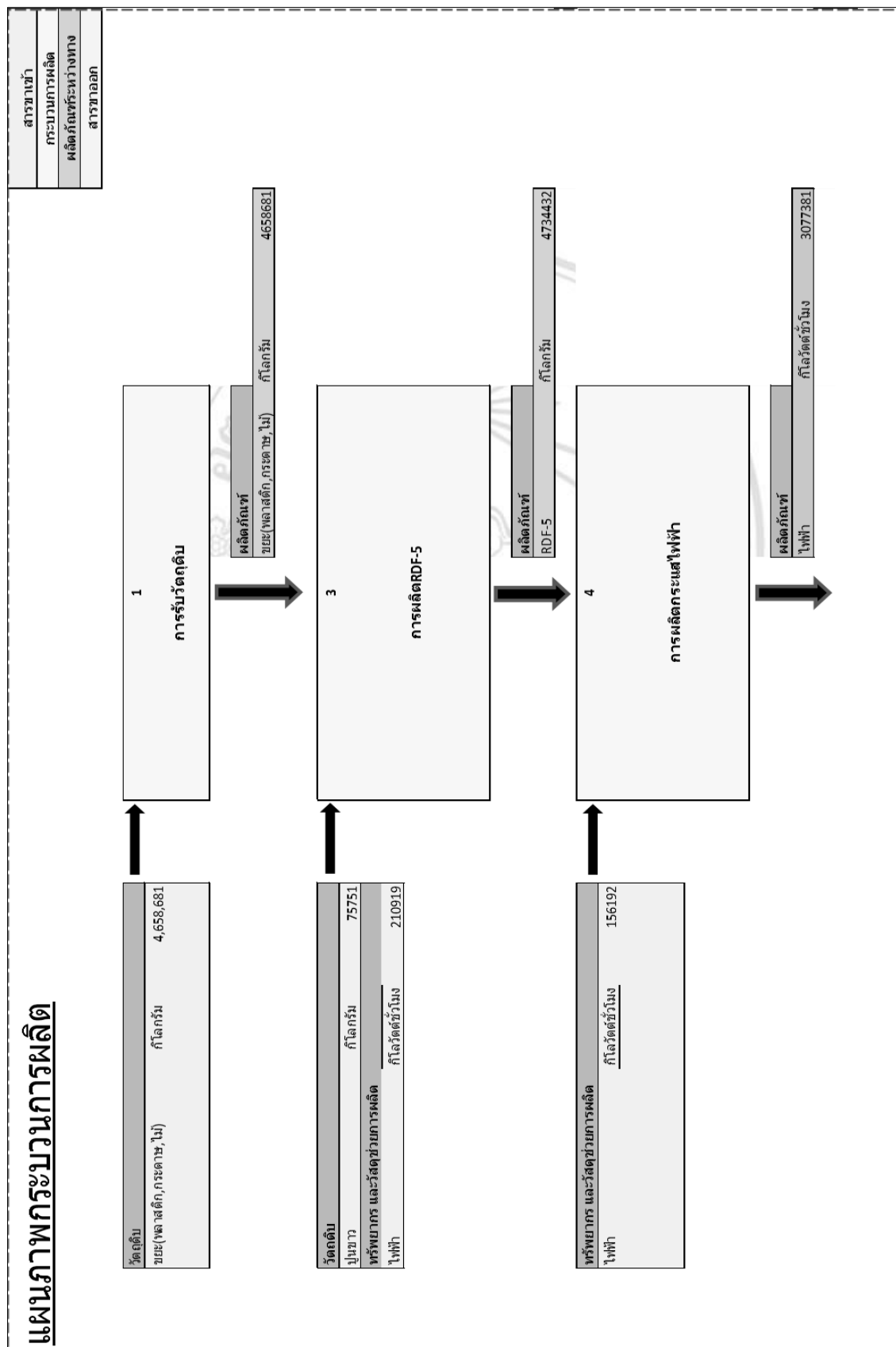
1) การจัดทำข้อมูลทั่วไป

1	ชื่อฟอร์ม	รายละเอียดของผลิตภัณฑ์	รหัสฟอร์ม	F-01														
	ชื่อเอกสารบันทึก																	
	เลขเอกสารควบคุม																	
	ชื่อบริษัท																	
	ชื่อผลิตภัณฑ์																	
คำอธิบาย :	ให้ระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน ที่กำหนด และขอบเขตการประเมิน พร้อมทั้งอ้างอิงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์																	
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (E)</th> <th>การผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยีเชื้อเพลิงขยะ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (E)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ขอบเขตของการประเมิน</td> <td>B2B</td> </tr> <tr> <td>หน่วยการทำงาน (Thai)</td> <td>1kwh</td> </tr> <tr> <td>หน่วยการทำงาน (Eng)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>สัดส่วนยอดขายผลิตภัณฑ์</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (E)	การผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยีเชื้อเพลิงขยะ	ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (E)		ขอบเขตของการประเมิน	B2B	หน่วยการทำงาน (Thai)	1kwh	หน่วยการทำงาน (Eng)		สัดส่วนยอดขายผลิตภัณฑ์			
ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (E)	การผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยีเชื้อเพลิงขยะ																	
ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (E)																		
ขอบเขตของการประเมิน	B2B																	
หน่วยการทำงาน (Thai)	1kwh																	
หน่วยการทำงาน (Eng)																		
สัดส่วนยอดขายผลิตภัณฑ์																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ข้อมูลด้านเทคนิค</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>การผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยีเชื้อเพลิงขยะ</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>อ้างอิง PCR</td> </tr> <tr> <td>วันที่ขอขึ้นทะเบียน</td> </tr> </tbody> </table>					ข้อมูลด้านเทคนิค		1	การผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยีเชื้อเพลิงขยะ	2		3		4		5		อ้างอิง PCR	วันที่ขอขึ้นทะเบียน
ข้อมูลด้านเทคนิค																		
1	การผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยีเชื้อเพลิงขยะ																	
2																		
3																		
4																		
5																		
อ้างอิง PCR																		
วันที่ขอขึ้นทะเบียน																		
การแสดงเครื่องหมายและข้อมูลเพิ่มเติม  0.46 kg กราฟแท่งแสดงการปล่อย GHG แต่ละไฟ  <table border="1"> <thead> <tr> <th>การขึ้นชื่อวัสดุ</th> <th>การผลิต</th> <th>การกระจายสินค้า</th> <th>การใช้งาน</th> <th>การจัดการ</th> <th>การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.0352</td> <td>0.4295</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					การขึ้นชื่อวัสดุ	การผลิต	การกระจายสินค้า	การใช้งาน	การจัดการ	การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	0.0352	0.4295						
การขึ้นชื่อวัสดุ	การผลิต	การกระจายสินค้า	การใช้งาน	การจัดการ	การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน													
0.0352	0.4295																	

2) การจัดทำแผนภาพกระบวนการผลิต



3) การสมดุลมวลและสมดุลพลังงานของสารขาเข้าและสารขาออก



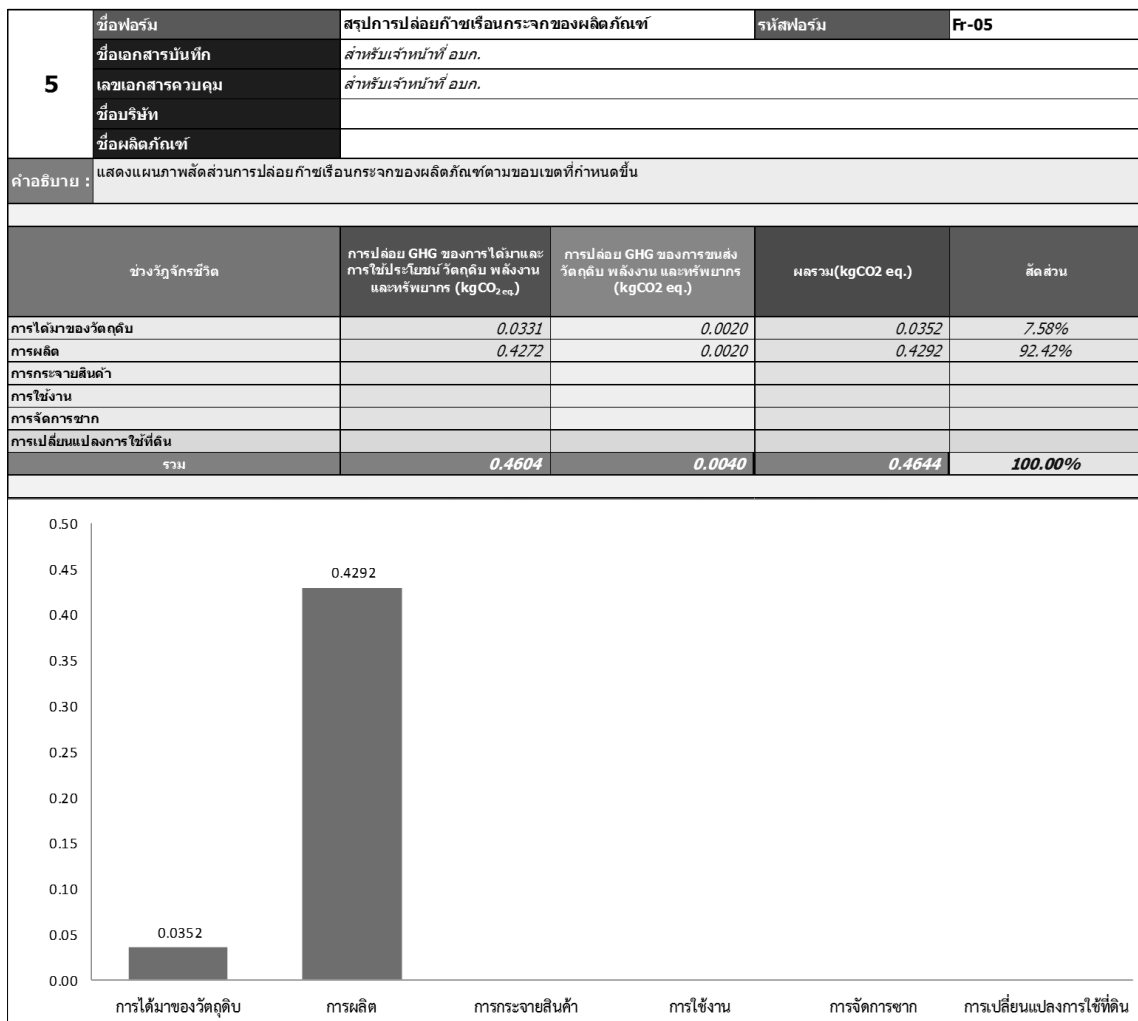
4) การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิต

ชื่อกลุ่ม ชื่อรุ่น		ข้อมูลการบันทึก										รหัสกลุ่ม			
4.1		ข้อมูลการบันทึก										Fr-04.1			
ชื่อผลิตภัณฑ์		ข้อมูลการคำนวณ													
คำอธิบาย :		โดยให้ระบุในคำอธิบายเพิ่มเติม และคำนวณรวมของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ท้ายตาราง													
สารวัตถุดิบ	รายการ	ค่า LCI		แหล่งที่มาของค่า LCI	ค่า EF (kg CO2 eq./หน่วย)	เงื่อนไข					แหล่งอ้างอิง EF	การปรับแก้ (%)	ผลคูณ	สัดส่วน (%)	ค่าปรับแก้เพิ่มเติม
		หน่วย	ปริมาณ			Self	Scp	PCR	Grid	Other					
ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม															
1. การรับวัตถุดิบ สาราน้ำมันดิบ (พลาสติกเกรดสูง, 1.2)	สาราน้ำมันดิบ	kg	4,658,681	1.51E+00	ค่าใช้สอยในสาขา และประเภทของสาขา	0.0092	✓				กรมการพลังงาน		0.0139	41.9%	
	2. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
	3. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
	4. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
	5. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
2. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ	สาราน้ำมันดิบ	kg	75,751	2.46E-02	Chattaporn, Sustainability of Alternative	0.7820		✓			TSO Guidebook (พ.ศ. 59) Line		0.0192	58.08%	
	3. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
	4. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
	5. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
	6. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม															
1. การรับวัตถุดิบ สาราน้ำมันดิบ (พลาสติกเกรดสูง, 1.2)	สาราน้ำมันดิบ	kg	4,658,681	1.51E+00	Chattaporn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand Narasuan University Journal Science and Technology 2015								0.0331	100.00%	
	2. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
	3. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
	4. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
	5. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
2. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ	สาราน้ำมันดิบ	kg	75,751	2.46E-02	Chattaporn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand Narasuan University Journal Science and Technology 2016										
	3. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
	4. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
	5. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
	6. การผลิต RDFS สาราน้ำมันดิบ														
3. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ	สาราน้ำมันดิบ	kWh	210,919	6.85E-02	Chattaporn, Sustainability of Alternative	0.6093		✓			TSO Guidebook (พ.ศ. 59) Electricity, grid mix (ไฟฟ้า)		0.0418	9.78%	
	2. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
	3. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
	4. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
	5. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
4. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ	สาราน้ำมันดิบ	kg	4,734,432	1.51E+00	Chattaporn, Sustainability of Alternative Energy for ORC Power Plant in Thailand Narasuan University Journal Science and Technology 2015										
	2. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
	3. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
	4. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
	5. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
5. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ	สาราน้ำมันดิบ	kg	4,734,432	1.51E+00	กรมการพลังงาน POC	0.3505							0.3855	90.22%	
	2. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
	3. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
	4. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
	5. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
6. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ	สาราน้ำมันดิบ	kWh	156,192	5.08E-02	TSO Guidebook (พ.ศ. 59) Electricity, grid mix (ไฟฟ้า)					✓				0.00%	
	2. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
	3. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
	4. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
	5. การผลิตไฟฟ้า สาราน้ำมันดิบ														
													0.4272	100.00%	100.00%
													0.4604		100.00%

5) การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการขนส่ง

[illegible]

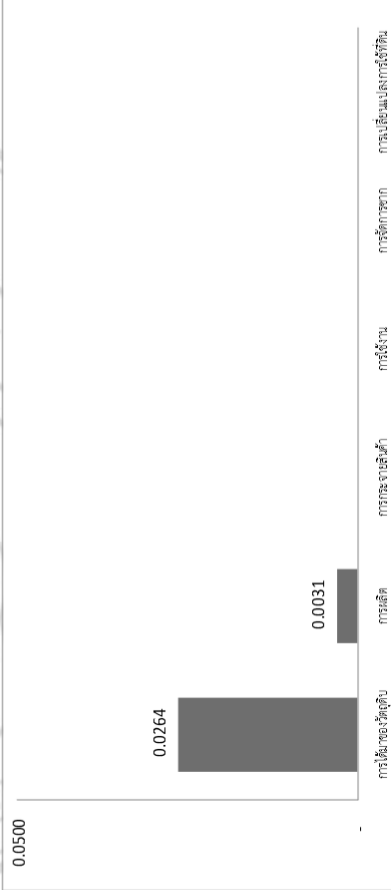
7) การแสดงผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก



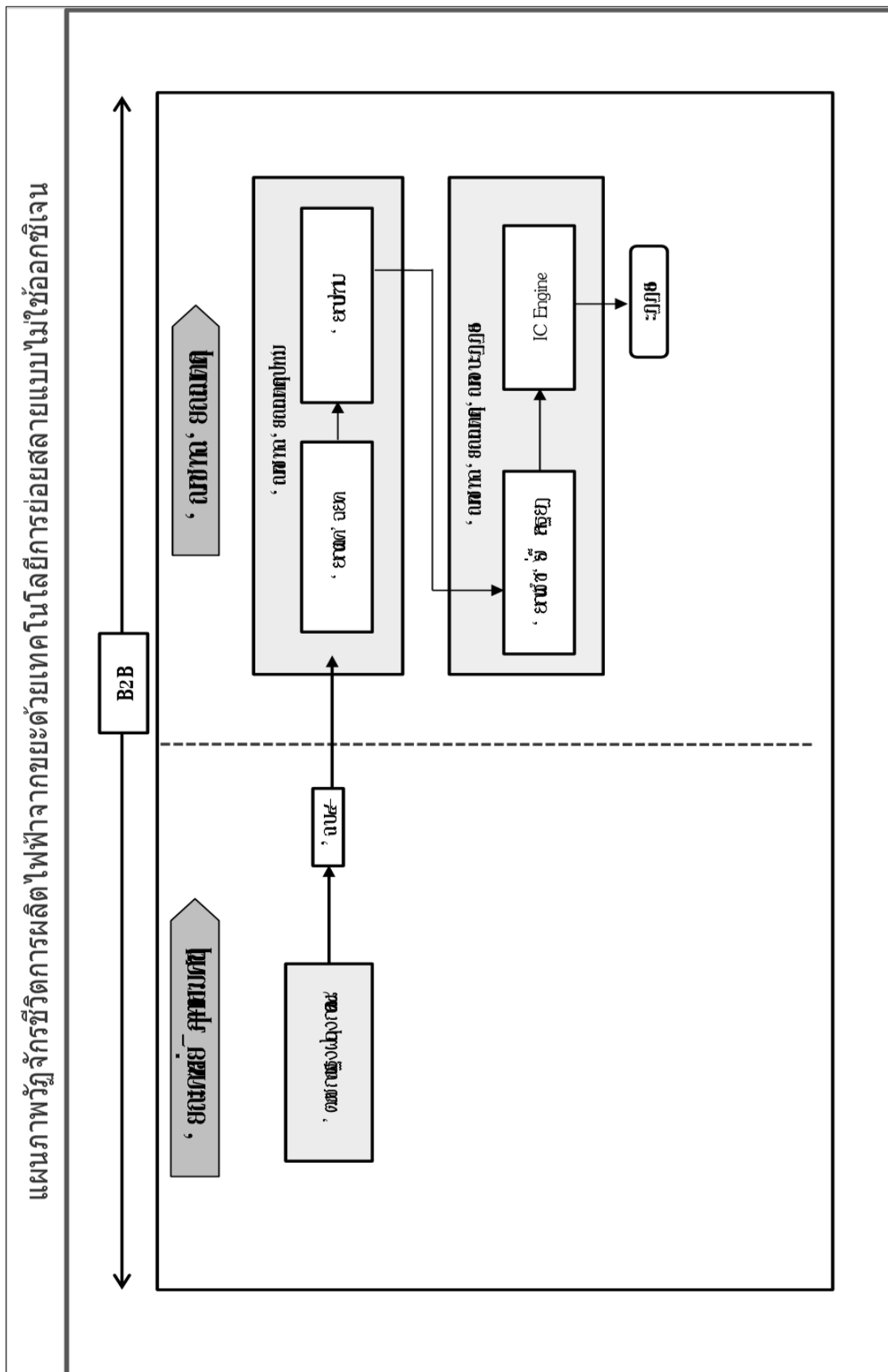
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ง.4 การจัดทำ Verification Sheet ของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

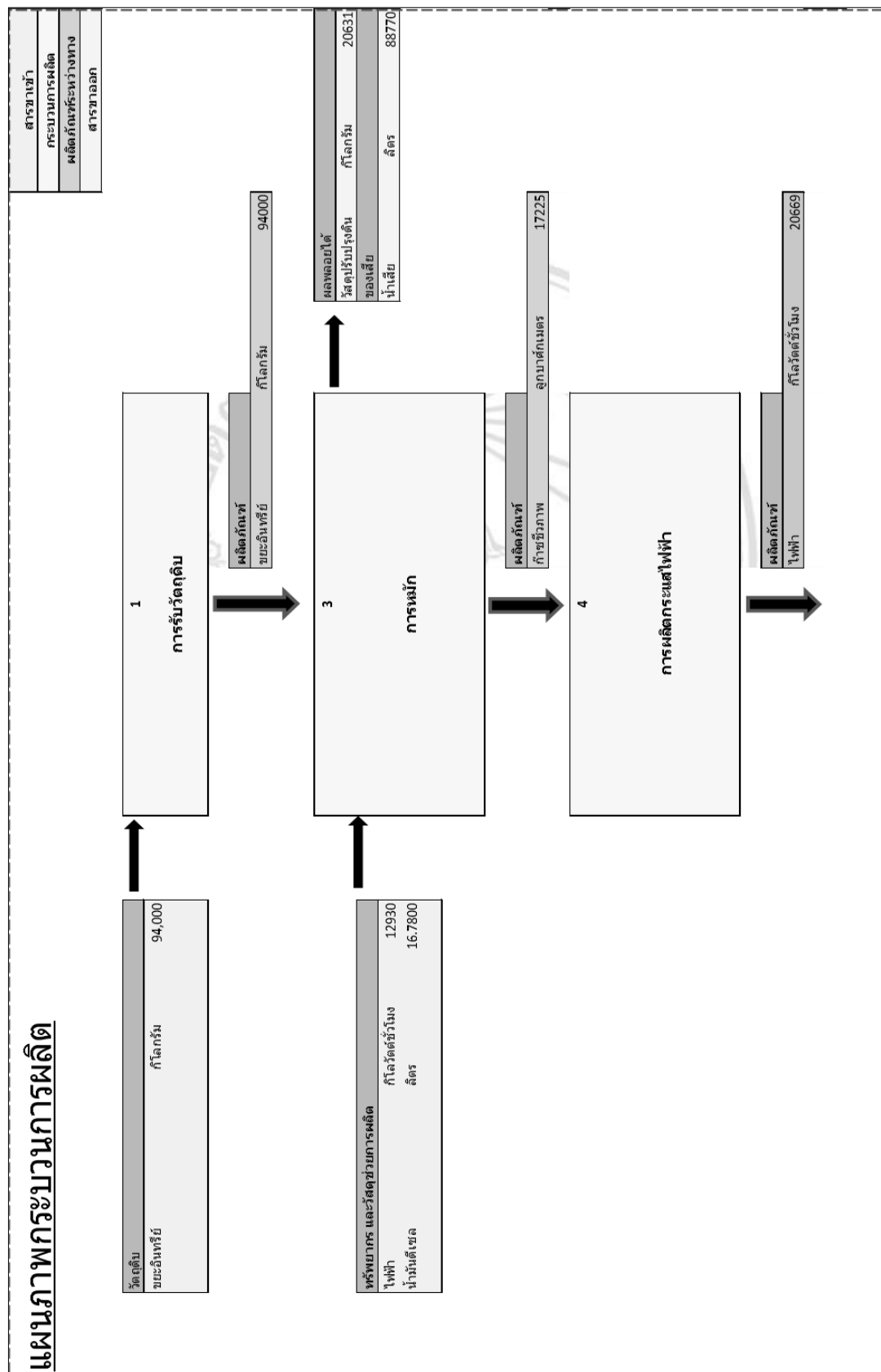
1) การจัดทำข้อมูลทั่วไป

1	ชื่อฟอร์ม	รายละเอียดของผลิตภัณฑ์	รหัสฟอร์ม	F-01
	ชื่อเอกสารบันทึก	สำหรับเจ้าหน้าที่ อบก.		
	เลขเอกสารควบคุม	สำหรับเจ้าหน้าที่ อบก.		
	ชื่อบริษัท			
	ชื่อผลิตภัณฑ์	ไฟฟ้า 1 kWh		
คำอธิบาย : ให้ระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ หน่วยงานที่ทำงาน ที่กำหนด และขอบเขตการประเมิน พร้อมทั้งอ้างอิงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์				
		ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (Ti)		
		ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (En)		
		ขอบเขตของการประเมิน		
		หน่วยการทำงาน (Thai)		
		หน่วยการทำงาน (Eng)		
		สัดส่วนของขยะผลิตภัณฑ์		
		ข้อมูลด้านเทคนิค		
		1	การผลิตไฟฟ้าการรวม ORC	
		2		
		3		
4				
5				
		อ้างอิง PCR		
		วันที่ขอขึ้นทะเบียน		
กราฟแสดงเครื่องหมายและข้อมูลเพิ่มเติม				
 0.03 kg  0.0264 0.0031				

2) การจัดทำแผนภาพกระบวนการผลิต



3) การสมดุลมวลและสมดุลพลังงานของสารขาเข้าและสารขาออก



[illegible][illegible]

5) การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการขนส่ง

ชื่อโครงการ		การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการขนส่ง										ชื่อเอกสารบันทึก		เลขเอกสารคำนวณ	
4.2		ขี้นคร													
ข้อมูลเบื้องต้น															
คำอธิบาย		ข้อมูลเบื้องต้น ข ข การขนส่งสินค้า พลังงานและทรัพยากร 2 หน่วย 1. ข ข การขนส่งสินค้า พลังงานและทรัพยากร 2 หน่วย 2. ข ข การขนส่งสินค้า พลังงานและทรัพยากร 2 หน่วย 3. ข ข การขนส่งสินค้า พลังงานและทรัพยากร 2 หน่วย 4. ข ข การขนส่งสินค้า พลังงานและทรัพยากร 2 หน่วย 5. ข ข การขนส่งสินค้า พลังงานและทรัพยากร 2 หน่วย 6. ข ข การขนส่งสินค้า พลังงานและทรัพยากร 2 หน่วย 7. ข ข การขนส่งสินค้า พลังงานและทรัพยากร 2 หน่วย 8. ข ข การขนส่งสินค้า พลังงานและทรัพยากร 2 หน่วย 9. ข ข การขนส่งสินค้า พลังงานและทรัพยากร 2 หน่วย 10. ข ข การขนส่งสินค้า พลังงานและทรัพยากร 2 หน่วย													
องค์ประกอบ	รายการ	ค่า LCI			ข) ข้อมูลใช้ระหว่าง				EF			การคำนวณ (kg)	ผลคูณ	Cut-off	รวม
		หน่วย	ปริมาณ	ปริมาณ/PU	ประเภท	การขนส่ง (kg)	การขนส่ง (kg)	การขนส่ง (kg)	ค่า CO2 (kg/kg)	ค่า CO2 (kg/kg)	ค่า CO2 (kg/kg)				
การขนส่ง	1. การขนส่งสินค้า														
	สารเคมี	kg	54.000	4.55E+00	kg	15.61	0.08	0.004788011	0.0472	0.0472	0.0472	0.0059			
	สารเคมี	kg	54.000	4.55E+00	kg	15.61	0.08	0.004788011	0.0472	0.0472	0.0472	0.0059			
	สารเคมี	kg	54.000	4.55E+00	kg	15.61	0.08	0.004788011	0.0472	0.0472	0.0472	0.0059			
การขนส่ง	2. การขนส่งสินค้า														
	สารเคมี	kg	54.000	4.55E+00	kg	15.61	0.08	0.004788011	0.0472	0.0472	0.0472	0.0059			
	สารเคมี	kg	54.000	4.55E+00	kg	15.61	0.08	0.004788011	0.0472	0.0472	0.0472	0.0059			
	สารเคมี	kg	54.000	4.55E+00	kg	15.61	0.08	0.004788011	0.0472	0.0472	0.0472	0.0059			
การขนส่ง	3. การขนส่งสินค้า														
	สารเคมี	kg	54.000	4.55E+00	kg	15.61	0.08	0.004788011	0.0472	0.0472	0.0472	0.0059			
	สารเคมี	kg	54.000	4.55E+00	kg	15.61	0.08	0.004788011	0.0472	0.0472	0.0472	0.0059			
	สารเคมี	kg	54.000	4.55E+00	kg	15.61	0.08	0.004788011	0.0472	0.0472	0.0472	0.0059			
รวม															
รวมทั้งหมด															

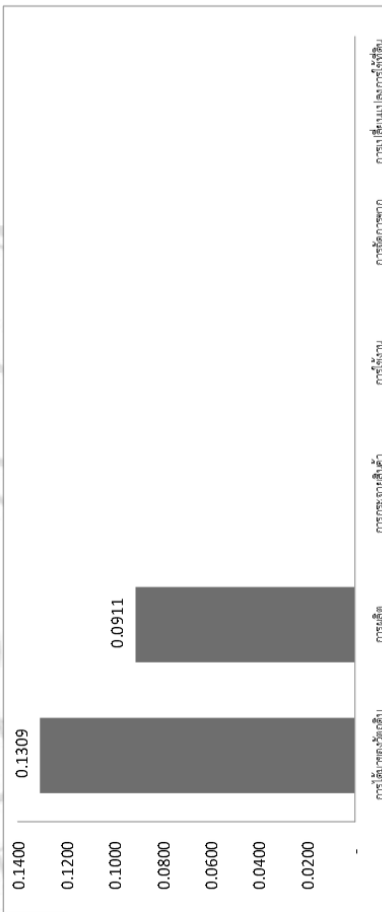
7) การแสดงผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก



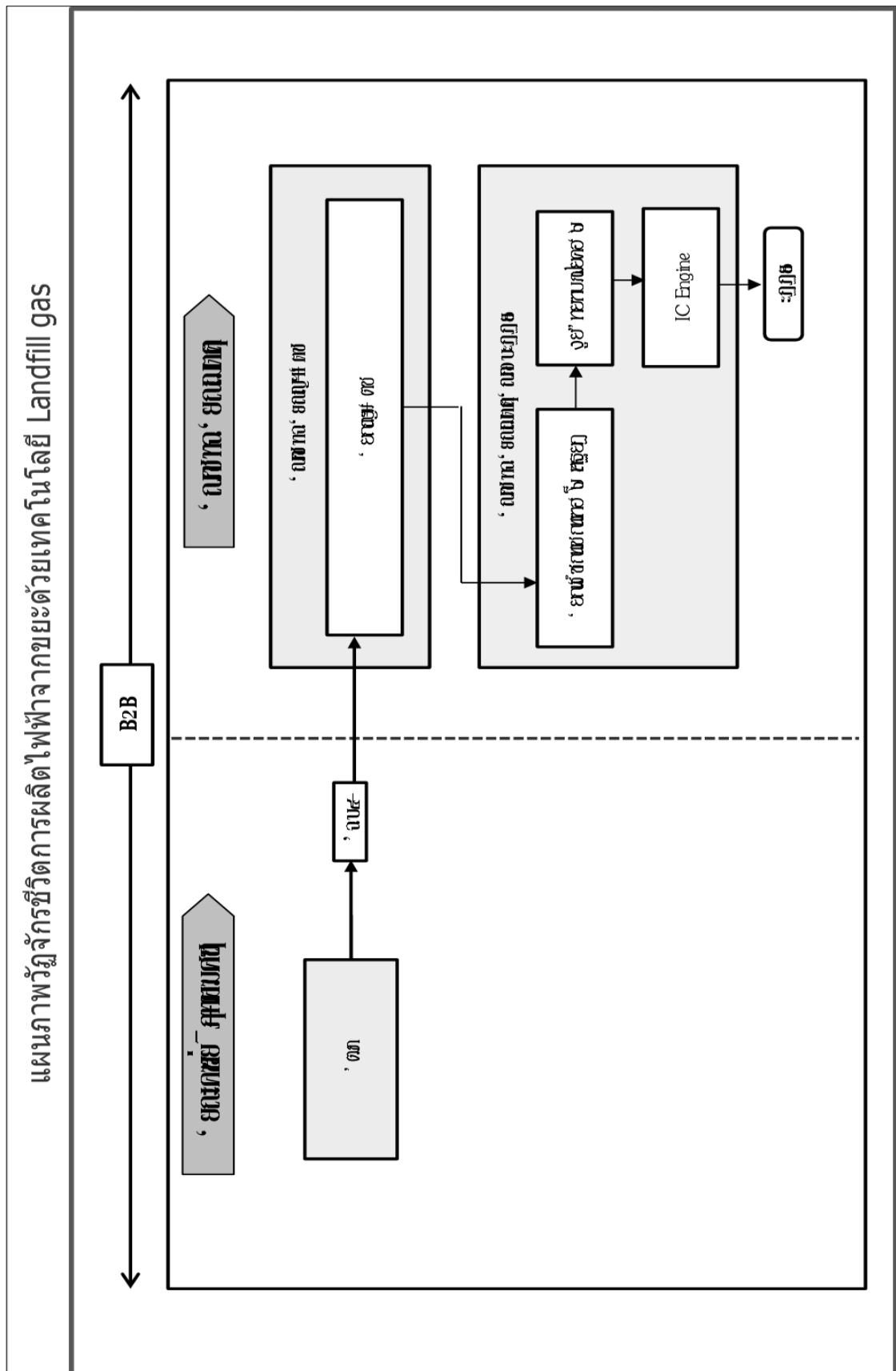
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ง.3 การจัดทำ Verification Sheet ของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจาก หลุมฝังกลบ

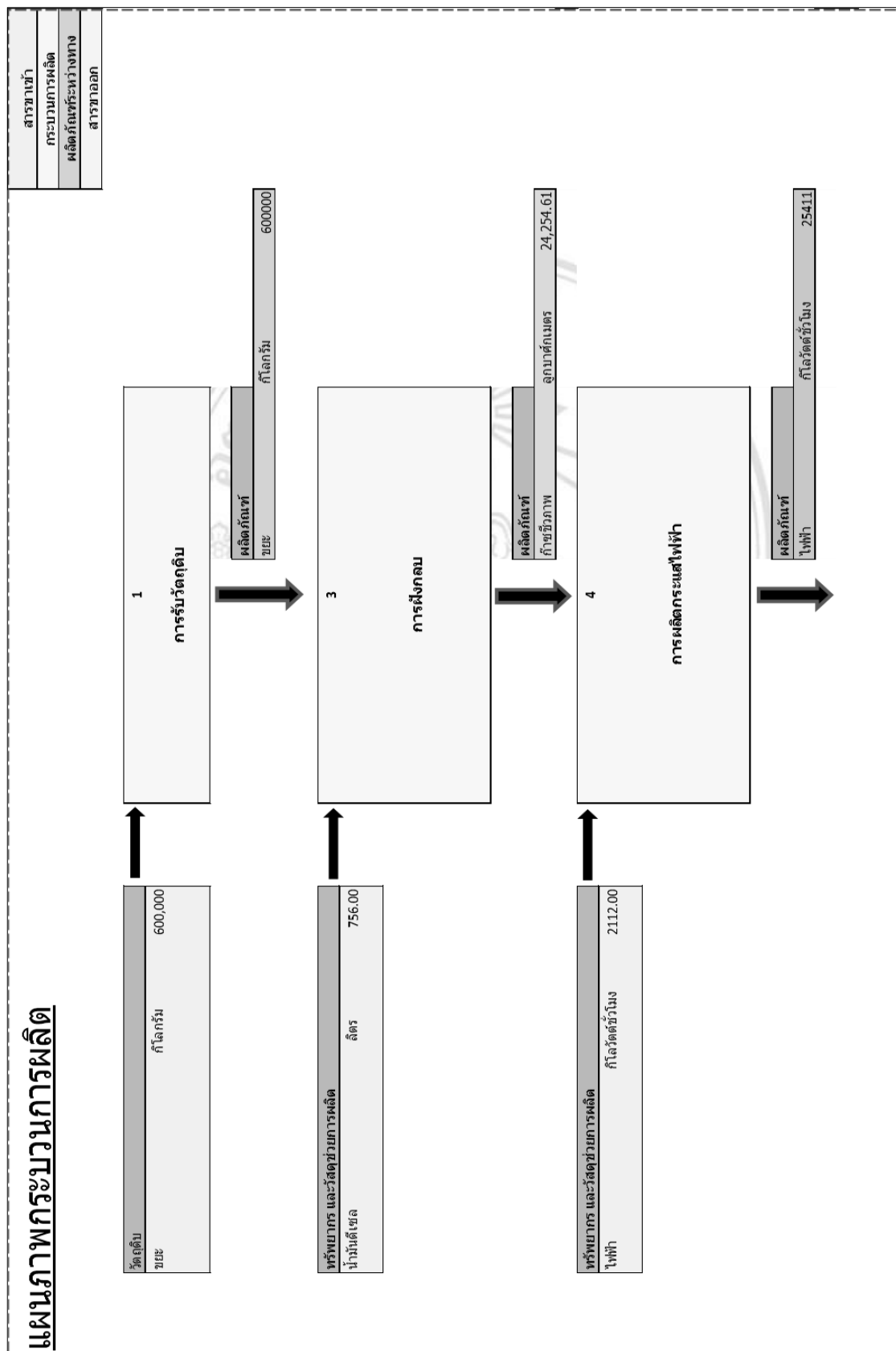
1) การจัดทำข้อมูลทั่วไป

ชื่อฟอร์ม		รายละเอียดของผลิตภัณฑ์	รหัสฟอร์ม	Fr-01	TCO/CP-V01-2013
1	ชื่อเอกสารบันทึก				
	เลขเอกสารควบคุม				
	ชื่อบริษัท				
	ชื่อผลิตภัณฑ์				
คำอธิบาย :	ให้ระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ หน่วยงานที่ดำเนินการทำงาน ที่กำหนด และขอบเขตการประเมิน การผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ				
พร้อมทั้งอ้างอิงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์					
					
การผลิตก๊าซ และ รุน (T) การผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ ชื่อผลิตภัณฑ์ และ รุน (Er) ขอบเขตของการประเมิน B2B 1Kwh หน่วยการทำงาน (Thai) หน่วยการทำงาน (Eng) สัดส่วนของขยะมูลฝอย ข้อมูลด้านเทคนิค 1 การผลิตไฟฟ้าจากขยะ Landfill gas 2 3 4 5 อ้างอิง PCR วันที่ขอขึ้นทะเบียน					
กราฟแบ่งแสดงการปล่อย GHG แต่ละเฟส 					
การแสดงผลเครื่องหมายและข้อมูลเพิ่มเติม 0.22 kg 					

2) การจัดทำแผนภาพกระบวนการผลิต



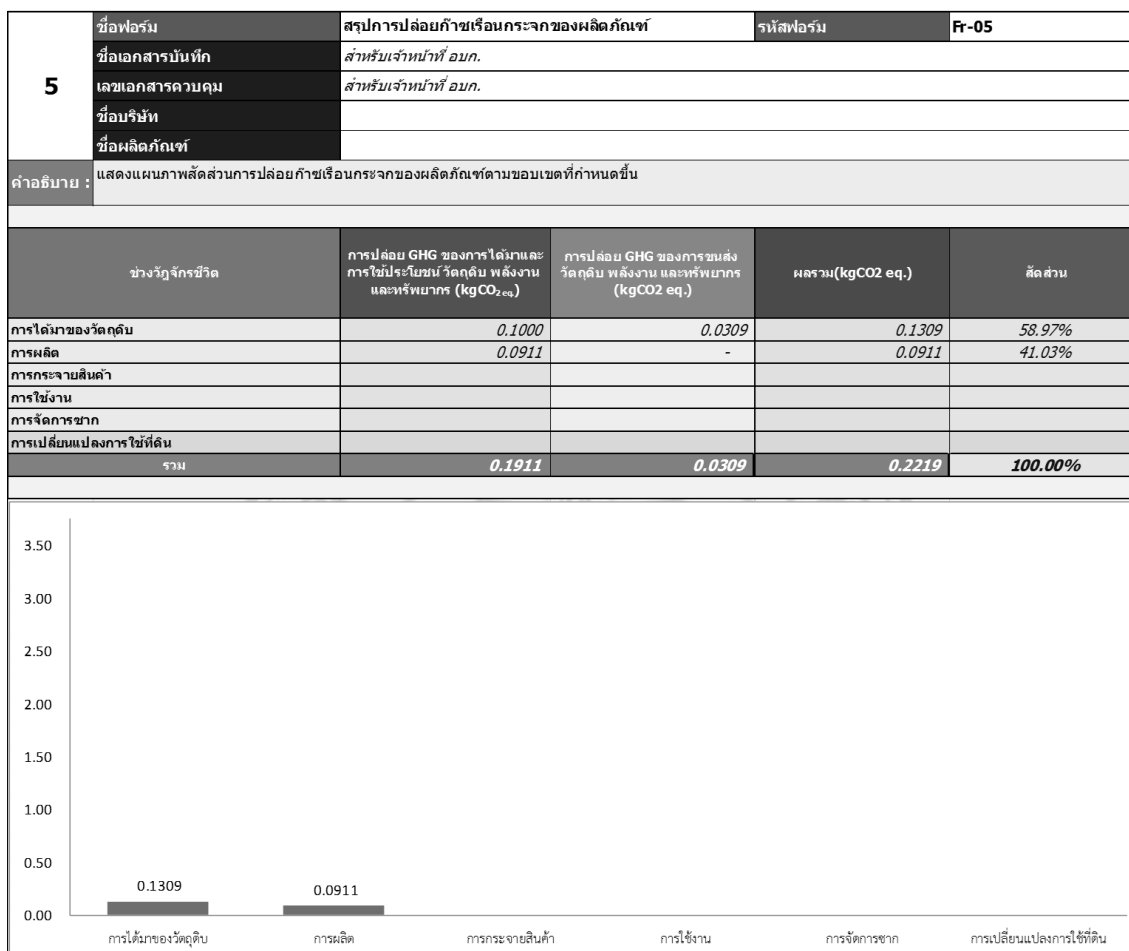
3) การสมดุลมวลและสมดุลพลังงานของสารขาเข้าและสารขาออก



4) การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิต

[illegible]

7) การแสดงผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก จ

แบบสอบถามการประเมินความสำคัญของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะ



แบบสอบถามเพื่อประเมินระดับคะแนนความสำคัญปัจจัยความต้องการ เกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะ

แบบสอบถามชุดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ระดับคะแนนความสำคัญความต้องการหรือความคาดหวังเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากขยะ โดยพิจารณาว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยความต้องการที่ท่านคิดว่าจะมีความสำคัญ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาสำหรับการเลือกเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยต่อไป

รายละเอียดของแบบสอบถาม : แบบสอบถามนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ให้สัมภาษณ์

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามการให้ระดับคะแนนความสำคัญความต้องการเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะ

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามการให้ระดับคะแนนความสำคัญด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และต้นทุน

ระดับคะแนน	ความหมาย
1	มีความสำคัญต่อความต้องการน้อยมาก
2	มีความสำคัญต่อความต้องการน้อย
3	มีความสำคัญต่อความต้องการปานกลาง
4	มีความสำคัญต่อความต้องการมาก
5	มีความสำคัญต่อความต้องการมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ให้สัมภาษณ์

1.1 เพศ

- ☐ ชาย
- ☐ หญิง

1.2 อายุของผู้ตอบแบบสอบถาม.....ปี

1.3 ผู้เชี่ยวชาญ

- ☐ นักวิจัยทางด้านพลังงาน
- ☐ นักวิจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม
- ☐ นักวิจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์
- ☐ อื่นๆ.....

1.4 ท่านเห็นด้วยหรือไม่หากมีการนำขยะชุมชนมาผลิตพลังงานไฟฟ้า

- ☐ เห็นด้วย
- ☐ ไม่เห็นด้วย

1.5 ท่านเห็นด้วยหรือไม่ที่ปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนานำขยะชุมชนมาผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าหลักของประเทศ

- ☐ เห็นด้วย
- ☐ ไม่เห็นด้วย

1.6 ภายในชุมชนของท่านมีปัญหาขยะหรือไม่

- ☐ มี
- ☐ ไม่มี

1.7 ท่านคิดว่าแหล่งชุมชนของท่านมีขยะเพียงพอที่จะนำมาผลิตไฟฟ้าหรือไม่

- ☐ เพียงพอ
- ☐ ไม่เพียงพอ

1.8 ท่านทราบหลักการการทำงานของการผลิตไฟฟ้าจากขยะหรือไม่

- ☐ ทราบ
- ☐ ไม่ทราบ

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามการให้ระดับคะแนนความสำคัญความต้องการเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะ

รายการ	ระดับความสำคัญ				
	1	2	3	4	5
1. เทคโนโลยีเตาเผา					
2. เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ					
3. เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน					
4. เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยี ก๊าซเชื้อเพลิงขยะ					
5. เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยี วัฏจักรแรงดันอินทรีย์					

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามการให้ระดับคะแนนความสำคัญความสำคัญด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และต้นทุน

รายการ	ระดับความสำคัญ				
	1	2	3	4	5
1. ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีสูง					
2. ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้มาก					
3. การใช้พลังงานและทรัพยากรน้อย					
4. ลดปัญหาขยะ					
5. กำจัดขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ					
6. ลดมลพิษทางน้ำและอากาศจากการติดตั้งและใช้งาน					
7. มีการลงทุนต่ำ					
8. มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำ					
9. มีระยะเวลาการคืนทุนเร็ว					

ขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

นางสาวเนตรชนากานต์ สุนันทา

ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



การถ่ายทอด พลังงานความร้อนและมวล

ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ

(ครั้งที่ 15)

ระหว่างวันที่ 30-31 มีนาคม 2559

ณ โรงแรม แอล รีสอร์ท สมุย

จังหวัดสุราษฎร์ธานี

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทความที่ 46 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระดับเมืองและการสำรวจแผนทางเลือกเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกสำหรับเมืองคาร์บอนต่ำ CITY CARBON FOOTPRINT EVALUATION AND GHG MITIGATION OPTIONS PLANNING SURVEY FOR LOW CARBON CITY	319
บทความที่ 47 การประเมินก๊าซเรือนกระจกของระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากขยะเทศบาล GREENHOUSE GASES EVALUATION OF ORGANIC RANKINE CYCLE SYSTEM FROM MUNICIPAL WASTE	327
บทความที่ 48 การใช้ไอเสียจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งความร้อนให้กับวัฏจักรแรงดันอินทรีย์เพื่อผลิตไฟฟ้า USE OF EXHAUST GAS FROM BIOGAS ENGINE AS HEAT SOURCE OF ORGANIC RANKINE CYCLE FOR POWER GENERATION	333
บทความที่ 49 ผลของแรงดันสนามไฟฟ้าในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของการผลิตไบโอดีเซล EFFECT OF ELECTRIC FIELD VOLTAGE ON TRANSESTERIFICATION OF BIODIESEL PRODUCTION	339
บทความที่ 50 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารา A TESTING PERFORMANCE OF A SMALL DIESEL ENGINES THAT USING BIODIESEL FROM RUBBER SEED OIL	344
บทความที่ 51 อิทธิพลของความเร็วลมร้อนที่มีผลต่อการอบแห้งปลาสำหรับการผลิตอาหารสัตว์ EFFECT OF THE HOT AIR-VELOCITY ON FISH DRYING FOR ANIMAL FEED PRODUCTION	351
บทความที่ 52 INCREASE OF SOLAR CELL POWER GENERATION BY PHASE CHANGE MATERIAL	355
บทความที่ 53 การพัฒนาและสร้างแบบจำลองเตาเผาถ่านไร้ควันแบบประหยัดพลังงานเพื่อการผลิตถ่านหุงต้มจากชีวมวล DEVELOPMENT AND SIMULATION OF AN ENERGY SAVING FUMELESS CHARCOAL RETORT FOR CHARCOAL PRODUCTION FROM BIOMASS	360
บทความที่ 54 การเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นของสครับเบอร์แบบสเปรย์น้ำด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำที่มีประจุไฟฟ้า PARTICLES CAPTURE EFFICIENCY IMPROVEMENT OF WATER SPRAY SCRUBBER BY ELECTRICALLY CHARGED MIST	366
บทความที่ 55 การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชใช้แล้วผ่าน HZSM-5 คัดลอกและแก้ไข BIOFUEL PRODUCTION FROM USED COOKING OIL THROUGH HZSM-5 CATALYTIC CRACKING	372
บทความที่ 56 การประเมินอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา EVALUATION OF TEMPERATURE AND POWER OF SOLAR ROOFTOP MODULE	380



การประเมินก๊าซเรือนกระจกของระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากขยะเทศบาล
Greenhouse Gases Evaluation of Organic Rankine Cycle System from Municipal Waste

เนตรชนกานต์ สุนันดา
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เชียงใหม่ 50200
E-mail: netchanakan.su2112@gmail.com

รศ.ดร.เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เชียงใหม่ 50200
ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการพลังงาน
และเศรษฐกิจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เชียงใหม่ 50200
E-mail: sate@eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

ใน พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีปริมาณขยะชุมชนมากถึง 27 ล้านตัน โดยที่ร้อยละ 45 ถูกจัดการโดยเทศบาลท้องถิ่น ซึ่งยังอาศัยการฝังกลบเป็นหลัก และมีขยะเพียงร้อยละ 1 ที่ถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการฝังกลบไม่สามารถจัดการปัญหามลพิษได้อย่างยั่งยืน เนื่องจากพื้นที่ฝังกลบมีจำกัด และการจัดการที่ไม่ดีพออาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ มากมาย ดังนั้นเพื่อให้เกิดการจัดการขยะอย่างยั่งยืน แนวคิดการนำขยะไปสู่พลังงาน "Waste to Energy" จึงเกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการจัดการขยะด้วยการนำขยะมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็ง สำหรับส่งต่อไปยังระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle) อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากขยะนี้ จะมีการใช้ทรัพยากร สาธารณสมบัติ พลังงาน และมีการปล่อยของเสียออกมา ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาโลกร้อน ในงานวิจัยนี้จึงได้เน้นหลักประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ที่มุ่งจากขยะเทศบาล โดยอาศัยแนวคิดของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint Analysis) จากการศึกษาพบว่า การผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 1 kWh มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.9305 kgCO₂-eq สามารถช่วยลดปริมาณขยะที่นำไปฝังกลบได้ถึง ร้อยละ 30 และลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง ร้อยละ 18 เมื่อเทียบกับการนำขยะไปฝังกลบ

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิต, ระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์, ขยะเทศบาล, คาร์บอนฟุตพริ้นท์

Abstract

In 2013, Thailand produced 27 ton of municipal waste, in which 45 % will be treated by municipality. However, most of waste treatment still reply on landfill, on the other hand, only one percent of waste will be used for producing electricity. It is obviously seen that landfill is not the appropriate scenario for solid waste management for this era due to the limitation and restriction of land use occupation that could contribute to variety of environmental issues. Therefore, to enhance the sustainability of municipal waste management, the idea of "Waste to Energy" has gradually applied. In this research, the RDF-5 hybrid with Organic Rankine Cycle (ORC) for electricity generation has been evaluated in term of the greenhouse gas emissions by using "Carbon Footprint Analysis" to assess in each activity such as material procurement, energy consumption and global warming impacts. As a result, carbon footprint of 1 kWh from RDF hybrid with ORC is 0.9305 kgCO₂-eq. In addition, when compare this technology with landfill, it can reduce the solid waste about 30 % and lessen the number of greenhouse gas emissions about 18 %.

Keywords: Life Cycle Assessment, Organic Rankine Cycle, Municipal Solid Waste, Carbon Footprint

1. บทนำ

ขยะเป็นปัญหาสำคัญที่ประเทศไทยกำลังให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมากมาย ซึ่งจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นรวมทั้งการเติบโตของเศรษฐกิจส่งผลให้ขยะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ขยะส่วนใหญ่ดำเนินการจัดการโดยเทศบาลและยังคงใช้วิธีการฝังกลบเป็นหลัก แต่ด้วยปริมาณขยะที่มากขึ้นอย่างรวดเร็วแต่พื้นที่ฝังกลบมีเท่าเดิม ทำให้เทศบาลไม่สามารถ

จัดการกับขยะที่เกิดขึ้นได้ทัน จนกลายเป็นปัญหาล้นมือขยะ ซึ่งต้องเร่งดำเนินการแก้ไข จึงเกิดแนวคิดการนำขยะไปสู่พลังงาน (Waste to energy) ที่จะแก้ไขปัญหาโดยการนำขยะมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้าของระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ โดยตั้งเป้าหมายในการช่วยลดปัญหามลพิษ และนำขยะมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เทคโนโลยีดังกล่าวเป็นเทคโนโลยีที่นำเสนออย่างมากเนื่องจากสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้โดยใช้แหล่งความร้อนที่มี

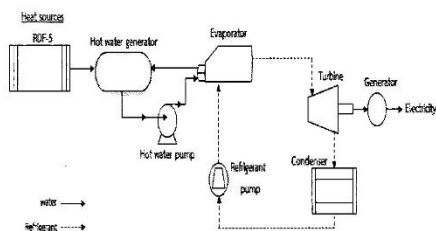


อุณหภูมิต่ำ ต่างจากเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าอื่นๆ ที่ต้องอาศัยแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง อย่างเช่นเทคโนโลยีการเผา เป็นต้น ทั้งยังสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการฝังกลบที่มีการปล่อยก๊าซมีเทนในปริมาณมากซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้ส่งผลกระทบต่อวิธีการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะนำหลักการประเมินการนำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) มาใช้เป็นเครื่องมือในการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านของภาวะโลกร้อน ซึ่งจะเป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยด้วยวิธีฝังกลบ

2. ระบบวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle: ORC)

ORC เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่มีหลักการการทำงานโดยการเปลี่ยนพลังงานความร้อนในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 90-110 องศาเซลเซียส มาผลิตไฟฟ้าโดยใช้สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูง สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้กลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำหรือมีจุดเดือดต่ำเพื่อใช้ขับกังหันและผลิตไฟฟ้าออกมาได้โดยใช้แหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ กระบวนการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 โดยเริ่มจากใช้เชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง เป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่หม้อต้มน้ำ เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นน้ำร้อนดังกล่าวจะถูกจ่ายให้ระบบ ORC โดยใช้น้ำร้อน (Hot water pump) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำงาน (Refrigerant) ในระบบ และถูกส่งกลับไปรับความร้อนอีกครั้งที่หม้อต้มน้ำ ซึ่งสารทำงานในระบบ ORC คือ R-245fa โดยจะถูกส่งมารับความร้อนที่เครื่องระเหย (Evaporator) โดยในสารทำงาน (Refrigerant Pump) เมื่อสารทำงานได้รับความร้อนจากน้ำร้อนภายใต้ความดันคงที่จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะของเหลวอิ่มตัวกลายเป็นไออิ่มตัว เป็นไอร้อนยวดยิ่งเข้าสู่กังหัน (Turbine) เพื่อขยายตัวและขับเพลลาที่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จากนั้นความดันและอุณหภูมิจะลดลงและอยู่ในสถานะของผสมระหว่างไอสารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากการใช้น้ำมันหล่อลื่นฉีดพ่นเข้าสู่ภายในของกังหันเพื่อลดความเสียดทานระหว่างสัมผัสกันของโลหะที่ใช้ทำกังหัน จากนั้นไอสารทำงานจะแยกตัวออกจากน้ำมันหล่อลื่นโดยตัวแยกของไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) กลายเป็นของเหลวอิ่มตัวอีกครั้ง



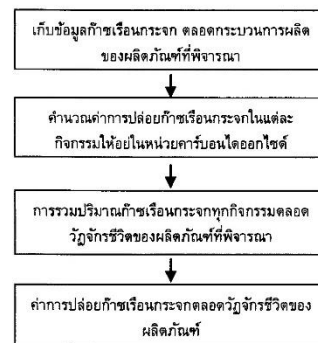
รูปที่ 1 แผนผังของระบบ ORC ในการใช้ RDF-5 เป็นแหล่งเชื้อเพลิง

3. ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณงานวิจัย

3.1 การประเมินก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHGs)

การประเมินก๊าซเรือนกระจกเป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตามแนวคิดของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ซึ่งในการดำเนินการแต่ละขั้นตอนนั้นย่อมมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาทั้งตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นจะอ้างอิงตามคู่มือ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006) ซึ่งจะประเมินศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนด้วยการใช้ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากการเทียบค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกเทียบกับค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของสารอ้างอิงพื้นฐาน คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสดงผลในเชิงปริมาณ คือ ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เทียบเท่าในหน่วยกิโลกรัม (kg-CO₂ equivalent) ดังแสดงในรูปที่ 2

ก๊าซที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกที่ถูกควบคุมในพิธีสารเกียวโด มี 7 ชนิด ซึ่งจะต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เท่านั้น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ก๊าซมีเทน (CH₄), ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O), ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC), ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC), ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) และก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF₃) (องค์การบริการก๊าซเรือนกระจก, 2556) แต่ตาม 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006) จะคำนวณเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), มีเทน (CH₄) และไนตรัสออกไซด์ (N₂O) เท่านั้น



รูปที่ 2 แผนผังแสดงขั้นตอนในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากรูปที่ 2 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทุกกิจกรรม j ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$GHG_{emission, total} = \sum_i \sum_j (A_j \times EF_j) \quad (1)$$

เมื่อ $GHG_{emission, total}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

A_j ที่เกิดจากกิจกรรมทั้งหมด ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}$)
คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่
เกิดขึ้นจากกิจกรรม j (Unit)
 EF_j คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก
(Emission factor) ในแต่ละกิจกรรม j
($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{Unit}$)

ซึ่งในแต่ละกระบวนการจะมีการใช้วัตถุดิบ สารเคมี เชื้อเพลิง และของเสียที่ออกมาจากกระบวนการแตกต่างกันไป การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัตถุดิบและสารเคมีสามารถคำนวณได้จากปริมาณที่ใช้คูณกับค่าแฟกเตอร์การปล่อย (Emission factor) ซึ่งอ้างอิงตามคู่มือการคำนวณขององค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2558) ในส่วนของปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$GHG_{\text{emission, fuel}} = FC_{\text{fuel}} \times NCV_{\text{fuel}} \times EF_{GHG, \text{fuel}} \quad (2)$$

เมื่อ $GHG_{\text{emission, fuel}}$ คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}$)
 FC_{fuel} คือ ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ (Unit)
 NCV_{fuel} คือ ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงที่ใช้ (MJ/unit)
 $EF_{GHG, \text{fuel}}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงฟอสซิล ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิงในการขนส่งวัตถุดิบทั้งสาขาเข้าและสาขาย่อยต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) แต่หากไม่ทราบปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จะไม่สามารถคำนวณได้จากระยะทางและน้ำหนักของวัตถุดิบที่ขนส่ง ดังสมการที่ (3)

$$GHG_{\text{emission, TP}} = \sum \left[\left(\frac{W_k D_k}{W_r} \times EF_{r1} \right) + (W_k \times D_k \times EF_{r2}) \right] \quad (3)$$

เมื่อ $GHG_{\text{emission, TP}}$ คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ($\text{kg CO}_{2\text{eq}}$)
 W_k คือ น้ำหนักบรรทุกของวัตถุดิบ k (ton)
 W_r คือ น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของรถบรรทุก (ton)
 D_k คือ ระยะทางการขนส่งของวัตถุดิบ k (km)
 EF_{r1} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัตถุดิบ k เทียบไป ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{km}$)
 EF_{r2} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัตถุดิบ k เทียบกลับ ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{km}$)

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ขยะสามารถคำนวณได้ตามคู่มือของ IPCC (IPCC, 2006) กำหนดให้คิดเฉพาะปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาขยะมูลฝอยที่มีฟอสซิลเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นในการคำนวณจะไม่คิดรวม

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากแหล่งชีวภาพ ได้แก่ กระดาษ อาหาร และเศษไม้ สามารถคำนวณได้จากสมการ (4)

$$CE = \sum_i (WF_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times 44/12 \quad (4)$$

เมื่อ CE คือ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาขยะ ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{ton MSW}$)
 WF_i คือ ปริมาณขยะมูลฝอยประเภท i (น้ำหนักเปียก) ที่นำมาเผา ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{ton MSW}$)
 dm_i คือ ปริมาณขยะมูลฝอยแห้งที่นำมาเผา
 CF_i คือ สัดส่วนของคาร์บอนในขยะมูลฝอยแห้ง (ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด) (ค่า 0.0-1.0)
 FCF_i คือ สัดส่วนของฟอสซิลคาร์บอนในคาร์บอนทั้งหมด (ค่า 0.0-1.0)
 OF_i คือ ค่าออกซิเดชันแฟกเตอร์ (ค่า 0.0-1.0)
 $44/12$ คือ CO_2/C ratio
 i คือ ประเภทของฟอสซิลในขยะมูลฝอยที่นำมาเผา

4. วิธีคำนวณงานวิจัย

การประเมินก๊าซเรือนกระจกของระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากขยะเทศบาล มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

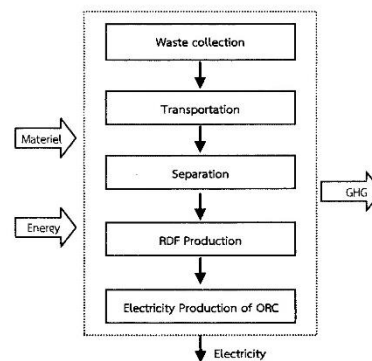
4.1 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

4.1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อประเมินก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากขยะเทศบาล

4.1.2 ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาคือการผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากขยะเทศบาลเริ่มตั้งแต่การเก็บรวบรวมขยะ การขนส่งไปจนถึงการผลิตไฟฟ้า และใช้วิธีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม มีขอบเขตดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขอบเขตของการศึกษาคือการผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากขยะเทศบาล

หน่วยการทำงาน (Functional Unit) คือ 1 kWh จากการผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ที่ใช้ RDF-5 จากขยะเทศบาล

4.2 การจัดทำบัญชีรายการ

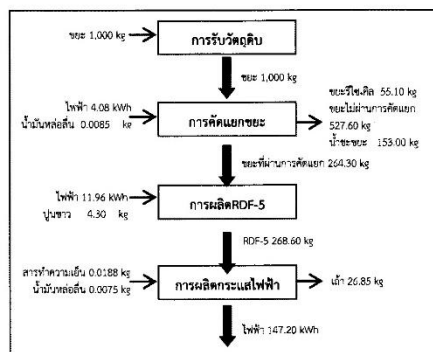
ในขั้นตอนนี้จะทำการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ในด้านการใช้ทรัพยากร พลังงาน และมลสารที่ออกมา ซึ่งจะทำให้การเก็บข้อมูลของการผลิตไฟฟ้าของเทคโนโลยี ORC ขนาด 20 kW โดยมีข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบ ORC

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
ขยะ(พลาสติก:กระดาษ:ใบไม้)	1:1:1	
ค่าความร้อน	27.57	MJ/kg
ปริมาณ RDF-5 ที่ใช้	32.64	kg/h
ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อน	80	%
ประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้า	10	%
ชั่วโมงการทำงาน	20	h/day

ที่มา: Chaiyat, 2015

ข้อมูลรายการสารขาเข้าและสารขาออกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะที่นำมาใช้ในการจัดทำบัญชีรายการจะเป็นทั้งข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงจากกระบวนการและข้อมูลที่ได้จากการนำข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วมาใช้ แสดงดังรูปที่ 4 โดยจะแบ่งขั้นตอนในการเก็บข้อมูลออกเป็น 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นตอนการเก็บรวบรวมขยะ ซึ่งข้อมูลที่ใช้จะเป็นข้อมูลเฉลี่ยจากเทศบาล ในพื้นที่จังหวัดภาคเหนือ (เทศบาลตำบลเกาะคา จ.ลำปาง, เทศบาลตำบลบ้านเหล่า จ.เชียงราย, เทศบาลเมืองแกนพัฒนา จ.เชียงใหม่, เทศบาลตำบล บ้านโฮ้ง จ.ลำพูน และเทศบาลนครพิษณุโลก จ.พิษณุโลก) ขั้นตอนการคัดแยกขยะ จะอ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัยของ ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2552 ในส่วนของการผลิต RDF-5 และการผลิตไฟฟ้าระบบ ORC อ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัยของ Chaiyat, 2015



รูปที่ 4 การจัดทำสมดุลมวลและสมดุลพลังงานของการผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากขยะเทศบาล

การจัดทำข้อมูลบัญชีรายการการผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากขยะเทศบาล 1 kWh รายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการเก็บรวบรวมขยะ

สารขาเข้า/สารขาออก	ประเภท	ปริมาณ	หน่วย
สารขาเข้า			
ขยะรวม	วัตถุดิบ	6.65E+00	kg
น้ำมันดีเซล	เชื้อเพลิง	1.16E-02	L
สารขาออก			
ขยะรวม	วัตถุดิบ	6.65E+00	kg

ตารางที่ 3 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการคัดแยกขยะ

สารขาเข้า/สารขาออก	ประเภท	ปริมาณ	หน่วย
สารขาเข้า			
ขยะรวม	วัตถุดิบ	6.65E+00	kg
ไฟฟ้า	พลังงาน	2.71E-02	kWh
น้ำมันหล่อลื่น	วัตถุดิบ	5.65E-05	kg
สารขาออก			
ขยะที่ผ่านการคัดแยก	วัตถุดิบ	1.80E+00	kg
ขยะรีไซเคิล	ผลิตภัณฑ์	3.36E-01	kg
	รวม		
ขยะที่นำไปทำปุ๋ย	ผลิตภัณฑ์	3.66E+00	kg
	รวม		
ขยะฝังกลบ	ของเสีย	1.86E-01	kg
น้ำชะขยะ	ของเสีย	6.65E-01	kg

ตารางที่ 4 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการผลิต RDF-5

สารขาเข้า/สารขาออก	ประเภท	ปริมาณ	หน่วย
สารขาเข้า			
ขยะที่ผ่านการคัดแยก (พลาสติก:กระดาษ:ใบไม้)	วัตถุดิบ	1.80E+00	kg
สารขาออก			
ไฟฟ้า	พลังงาน	8.13E-02	kWh
ปูนขาว	สารเคมี	2.92E-02	kg

ตารางที่ 5 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าระบบ ORC

สารขาเข้า/สารขาออก	ประเภท	ปริมาณ	หน่วย
สารขาเข้า			
RDF-5	เชื้อเพลิง	1.82E+00	kg
สารทำความเย็น(R-245fa)	สารเคมี	1.28E-04	kg
น้ำมันหล่อลื่น	วัตถุดิบ	5.08E-05	kg
สารขาออก			
ไฟฟ้า	พลังงาน	1.00E+00	kWh
เถ้า	ของเสีย	1.82E-01	kg

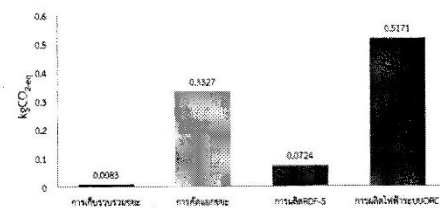
5. ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ในงานวิจัยนี้ ผลจากการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และของเสียที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบ ORC จะถูกนำไปคำนวณเพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนด้วยการประเมินก๊าซเรือนกระจก ซึ่งหากแบ่งตามช่วงของกระบวนการ จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ กระบวนการเก็บขยะ กระบวนการคัดแยกขยะ กระบวนการผลิต RDF-5 และกระบวนการผลิตไฟฟ้า จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบ ORC 1 kWh มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.9305 kgCO_{2-eq}

จากขั้นตอนของการผลิตไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเท่ากับ 0.5172 kgCO_{2-eq} หรือ คิดเป็นร้อยละ 56 ผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ RDF-5 ร้อยละ 88 หรือเท่ากับ 0.4572 kgCO_{2-eq} ของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า ส่วนผลกระทบจากการทำความสะอาดที่เกิดขึ้นระหว่างการรีไซเคิล เท่ากับ 0.0523 kgCO_{2-eq} ซึ่งการที่ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาจะเป็นในส่วนของการคัดแยกขยะ เท่ากับ 0.3327 kgCO_{2-eq} ผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้าและน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งผลกระทบจากการใช้ไฟฟ้า เท่ากับ 0.0271 kgCO_{2-eq} และการใช้น้ำมันหล่อลื่น เท่ากับ 0.00006 kgCO_{2-eq} ส่วนการผลิต RDF-5 เท่ากับ 0.0724 kgCO_{2-eq} ผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้าและปูนขาว ซึ่งผลกระทบจากการใช้ไฟฟ้า เท่ากับ 0.0495 kgCO_{2-eq} และปูนขาว เท่ากับ 0.0228 kgCO_{2-eq} และในส่วนของการเก็บขนขยะ มีค่าผลกระทบ เท่ากับ 0.0083 kgCO_{2-eq} ซึ่งมาจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลที่ใช้ในการเก็บขนขยะ

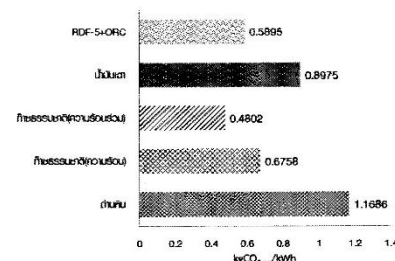
ตารางที่ 6 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตแยกตามกระบวนการของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยี ORC 1 kWh

ที่	กระบวนการ	ค่าผลกระทบ (kgCO _{2-eq})	ผลกระทบ (%)
1	การเก็บขนขยะ	0.0083	1
2	การคัดแยกขยะ	0.3327	36
3	การผลิต RDF-5	0.0724	8
4	การผลิตไฟฟ้าระบบ ORC	0.5171	55
	รวม	0.9305	100



รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของไฟฟ้าจากขยะเทศบาล ในแต่ละขั้นตอน

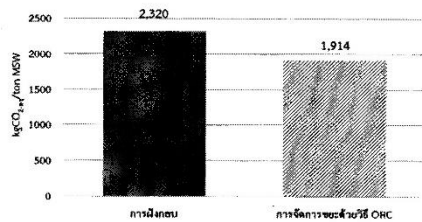
หากคิดเฉพาะกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งด้วยเทคโนโลยี ORC ซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.5895 kgCO_{2-eq}/kWh มาเปรียบเทียบกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าของไทยที่เป็นการผลิตไฟฟ้าจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเช่นเดียวกัน ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน ซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 1.1686 kgCO_{2-eq}/kWh การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ (ระบบความร้อน) มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.6758 kgCO_{2-eq}/kWh การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ (ระบบความร้อนร่วม) มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.4802 kgCO_{2-eq}/kWh และการผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันเตา ซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.8975 kgCO_{2-eq}/kWh (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2554) จะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยี ORC มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ (ระบบความร้อนร่วม) เท่ากับ 0.1093 kgCO_{2-eq}/kWh แต่น้อยกว่าการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน น้ำมันเตา และก๊าซธรรมชาติ (ระบบความร้อน) เท่ากับ 0.5791, 0.3080, 0.0863 kgCO_{2-eq}/kWh ตามลำดับ ทั้งที่ระบบผลิตไฟฟ้า ORC มีประสิทธิภาพน้อยกว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน, ก๊าซธรรมชาติ (ระบบความร้อน) และน้ำมันเตา แต่กลับมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 6 แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการนำขยะไปผลิตเป็น RDF-5 และผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC กับการนำขยะไปจัดการด้วยวิธีการฝังกลบ ซึ่งเป็นวิธีที่เทศบาลใช้จัดการกับขยะที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 2,320 kgCO_{2-eq}/ton MSW พบว่า การนำขยะส่วนหนึ่ง (พลาสติก, กระดาษ, ใบไม้) มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแท่งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าให้กับระบบ ORC และขยะที่เหลือนำไปฝังกลบจะมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพียง 1,914 kgCO_{2-eq}/ton MSW เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าการนำขยะมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งแล้วนำไปผลิตไฟฟ้าสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 406 kgCO_{2-eq}/ton MSW หรือคิดเป็นร้อยละ 18 อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณขยะที่จะเข้าสู่บ่อฝังกลบขยะได้ถึงร้อยละ 30



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าของไทย 1 kWh กับการผลิตไฟฟ้าระบบ ORC จากเชื้อเพลิงขยะเทศบาล
หมายเหตุ: ค่านี้ไม่รวมการก่อสร้างโรงไฟฟ้า



331



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ การฝังกลบขยะ 1 ตัน กับการนำไปผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี ORC

6. สรุปผล

การศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการนำขยะจากเทศบาล มาใช้ประโยชน์โดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าให้กับระบบ ORC พบว่า การผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากขยะเทศบาล 1 kWh มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.9218 kgCO₂e โดยในขั้นตอนของการผลิตไฟฟ้า มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 91 ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ RDF-5 ถึงร้อยละ 82 เนื่องจากประสิทธิภาพของระบบ ORC มีค่าต่ำ ทำให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าขั้นตอนอื่น รองลงมาจะเป็นผลกระทบจากขั้นตอนการผลิต RDF-5 ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่จะมาจากการใช้ไฟฟ้าในเครื่องจักรที่ใช้ในการสับย่อยและอัดแท่งขยะ ส่วนขั้นตอนการคัดแยกขยะซึ่งผลกระทบมาจากการใช้ไฟฟ้าในการคัดแยกขยะของเครื่องจักรเป็นหลัก และสุดท้าย คือ ขั้นตอนการเก็บรวบรวมขยะ ผลกระทบจะมาจากเผาไหม้น้ำมันดีเซลที่ใช้ในการเก็บขนขยะเป็นหลัก

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าของไทยในปัจจุบัน จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าของ ORC มีน้อยกว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ (ระบบความร้อน) และน้ำมันเตา แต่กลับมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อยกว่า ในอนาคตถ้าหากมีการพัฒนาระบบการผลิตไฟฟ้า ORC ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะส่งผลให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าน้อยลง และเมื่อพิจารณาในมุมมองของการจัดการขยะ การนำขยะไปผลิตเป็น RDF-5 และผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 18 อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณขยะที่จะเข้าสู่บ่อฝังกลบขยะได้ถึงร้อยละ 30 จากที่จะต้องนำขยะ 1 ตันไปฝังกลบ ดังนั้นควรจะมีการผลักดันให้มีการนำขยะมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าให้กับระบบ ORC เพื่อช่วยลดปริมาณขยะที่จะนำไปฝังกลบ ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย และเป็นแนวทางในการเลือกใช้พลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาสังคมที่ยั่งยืนได้อย่างเป็นรูปธรรม

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เทศบาลตำบลเกาะคา จังหวัดลำปาง เทศบาลตำบลบ้านเหล่า จังหวัดเชียงราย เทศบาลเมืองแกนพัฒนา จังหวัดเชียงใหม่ เทศบาลตำบลบ้านโฮ้ง จังหวัดลำพูน เทศบาลนครพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก และศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานจากชีวมวล อุทยานกรมมหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี สำหรับความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการพลังงานและเศรษฐกิจชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำเป็นอย่างดี ตลอดจนงานวิจัยนี้สำเร็จลงไปด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. แผนพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551-2565).
- [2] กรมควบคุมมลพิษ. 2554. คู่มือการจัดการขยะมูลฝอยและเทคโนโลยีการแปรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงานสำหรับท้องถิ่น. หน้า 56-57
- [3] ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, จิตเทพ ประสิทธิ์ชัยกุล, ณัฐนี้ วรยศ และอดิพงษ์ นันทพันธ์. 2552. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์การศึกษาวิเคราะห์แนวทางการจัดการขยะในการผลิตไฟฟ้าในระดับอำเภอ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล.2550. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. หน่วยวิจัยเพื่อการจัดการพลังงานและ เศรษฐกิจชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [5] ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2552. การศึกษาแนวทางการบริหารจัดการขยะชุมชนเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนแบบครบวงจร (ระดับชุมชน).
- [6] องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก. 2558. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์.
- [7] Chaiyat N., 2015. Sustainability of alternative energy for organic rankine cycle power plant in Thailand, Nares Univ J: Sci Technol. 23, 45-62.
- [8] IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวเนตรชนากานต์ สุนันตา

วัน เดือน ปี เกิด 21 ธันวาคม พ.ศ. 2533

ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2555 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาควิชา
เชียงใหม่



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved