



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



ภาคผนวก ก

ค่า Emission Factor จากการใช้ไฟฟ้า 1 kWh และน้ำมันดีเซล 1 ลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาคผนวก ก

ค่า Emission Factor จากการใช้ไฟฟ้า 1 kWh และน้ำมันดีเซล 1 ลิตร

ก.1 ตารางค่า Emission Factor จากการใช้ไฟฟ้า 1 kWh (Japan Environmental Management Association For Industry, 2000)

ชนิด โรงไฟฟ้า	kg/kWh							
	CO ₂	CO	N ₂ O	NO _x	NMVOC	CH ₄	Dust	SO ₂
ถ่านหิน	2.60E-01	4.04E-05	8.10E-06	1.19E-03	4.05E-06	3.11E-06	1.03E-05	6.52E-04
น้ำมัน	9.88E-05	1.36E-06	1.84E-07	1.77E-05	3.10E-07	6.20E-08	6.66E-06	5.83E-05
ก๊าซธรรมชาติ	4.46E-01	1.39E-04	1.36E-05	1.02E-03	2.99E-05	1.60E-05	6.25E-05	1.37E-06

ก.2 ตารางค่า Emission Factor จากการใช้้ำมันดีเซล 1 ลิตร (ณฐนี วรยศ, 2550 และ
* กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

รายการ	Emission Factor (kg/liter of diesel)						
รถ	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	SO ₂ *	NMVOC
กระบะ	2.69E+00	1.50E-02	4.00E-05	1.35E-02	1.50E-04	6.64E-02	4.01E-03



ภาคผนวก ข

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาคผนวก ข

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2

ขั้นตอนที่ 1 ไล่น้ำออกจากน้ำมันพืช

- 1.1 เติมน้ำมันในถังไล่น้ำและทำปฏิกิริยาจำนวน 150 ลิตร
- 1.2 ตั้งอุณหภูมิเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Digital temp controller) ที่ 105°C
- 1.3 ปลดอากาศออกจากปั๊มลม (เปิดปั๊มลมและวาล์วลม A) เข้าด้านล่างของถัง สังเกตว่าจะมีไอน้ำออกมาที่ช่องเดิมสารเคมี 2 นิ้วจำนวนมาก รอไปจนกระทั่งไอน้ำลดลง (ไม่ควรเกิน 30 นาที) ถ้าปิดปั๊มลมจะไม่มีไอน้ำออกมาอีกแสดงว่าไอน้ำในน้ำมันถูกไล่ออกหมดแล้ว
- 1.4 ปิดฮีทเตอร์
- 1.5 เปิดปั๊ม 4 และ Blower เพื่อลดอุณหภูมิน้ำมันลง และรับความร้อนมาช่วยในการระเหยน้ำเป็นระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง หลังจากนั้นทิ้งให้น้ำมันค้างคืน
หมายเหตุ: ถัง 4 ควรมีไบโอดีเซลอย่างน้อย 25 ลิตร หรือถ้าเริ่มระบบครั้งแรกให้เติมน้ำก่อน เสร็จแล้วจึงถ่ายน้ำทิ้งให้หมด

ขั้นตอนที่ 2 ปรับสภาพน้ำมันพืชก่อนปฏิกิริยา

ก่อนทำขั้นตอนนี้ควรตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันในถังไม่ควรเกิน 55°C และไม่ควรต่ำกว่า 50°C ถ้าต่ำกว่านี้ให้เปิดฮีทเตอร์ช่วย และเมื่ออุณหภูมิถึง 55°C ให้ปิดฮีทเตอร์ แต่ถ้าสูงกว่า 55°C ให้เปิดปั๊ม 4 และ Blower เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำมันลง

- 2.1 ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันในถังไล่น้ำและทำปฏิกิริยาให้มีอุณหภูมิประมาณ 55°C
- 2.2 เตรียมสารเมทานอลจำนวน 18 ลิตร
- 2.3 เติมน้ำเมทานอลจำนวน 18 ลิตร เข้าในถังไล่น้ำและทำปฏิกิริยา
- 2.4 เติมกรดซัลฟุริก 150 C.C.
- 2.5 เปิดปั๊ม 1 ตั้งเวลาให้หมุนเวียนทำงานอีกประมาณ 4 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 3 ทำปฏิกิริยาทราเอสเทอร์ฟิเคชัน

ควรทำต่อจากข้อ 2.8 ทันที เพราะปฏิกิริยาต้องการอุณหภูมิน้ำมันในถังเท่ากับ 55 °C

- 3.1 เตรียมเมทานอล 12 ลิตร และ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.35 กิโลกรัม (ควรเตรียมอย่างน้อย 3 ชั่วโมง)
- 3.2 ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันในถังไล่น้ำและทำปฏิกิริยา 55 °C
- 3.3 ปิดปั๊ม 1 (ถ้า Blower และปั๊มลมยังทำงานอยู่ให้ปิดชั่วคราว) เติมน้ำมันเมทานอลและโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่เตรียมไว้ เข้าในถังไล่น้ำและทำปฏิกิริยา
- 3.4 เปิดปั๊ม 1 ตั้งเวลาให้หมุนเวียนทำงานอีกประมาณ 1.5 ชั่วโมง
- 3.5 ถ่ายสารผสมที่ได้ไปถังแยกกลีเซอริน (ใช้ปั๊ม 1) ปล่อยให้ตกตะกอน

ขั้นตอนที่ 4 แยกกลีเซอริน

แยกกลีเซอรินออกประมาณ 30 ลิตร และถ่ายไบโอดีเซลไปยังถังล้างน้ำ

ขั้นตอนที่ 5 ล้างน้ำ

- 5.1 ล้างน้ำครั้งที่ 1 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 5.2 ล้างน้ำครั้งที่ 2 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
- 5.3 ล้างน้ำครั้งที่ 3 เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
- 5.4 ถ่ายไบโอดีเซลไปถังไล่น้ำความชื้นครั้งสุดท้าย

ขั้นตอนที่ 6 การไล่น้ำความชื้นครั้งสุดท้าย

ใช้ Blower ไล่น้ำความชื้นประมาณ 8-12 ชั่วโมง

(ที่มา: สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548)



ภาคผนวก ก

การจัดทำบัญชีรายการ และตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธี *NETS*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาคผนวก ค

การจัดทำบัญชีรายการ และตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธี NETS

การจัดทำบัญชีรายการ และคำนวณหาค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2 ได้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือการจัดหาวัตถุดิบ กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว และการนำไปใช้ โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังนี้

- การจัดหาวัตถุดิบ

วัตถุดิบของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วคือเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2 ของสถานจัดการและอนุรักษ์พลังงานพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ การจัดทำบัญชีรายการจะกล่าวถึงองค์ประกอบ ซึ่งประกอบไปด้วย ขนาด ปริมาตรวัสดุ ชนิดวัตถุดิบ และโครงสร้างต่างๆ ไป ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะต้องถูกเปลี่ยนเป็นน้ำหนัก เพื่อใช้ในการคำนวณด้วยวิธี NETS เพื่อหาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยสามารถหาน้ำหนักจากสมการที่ (1)

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \text{มวล (kg) / ปริมาตร (cm}^3\text{)} \quad (1)$$

ค.1 ค่าความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2 (Materials Sorted by Category Then Density, No date)

วัสดุ	ความหนาแน่น (g/cm ³)
1. เหล็ก	7.715
2. เหล็กกล้าไร้สนิม	8.030
3. พลาสติก	0.965
4. ฉนวน	0.026

น้ำหนักของวัตถุดิบ และชนิดของวัตถุดิบ สามารถแสดงได้ดังตาราง ค.2

ค.2 บัญชีรายการในขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบ ของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

วัสดุ	น้ำหนัก (kg)
1. เหล็ก	42.89
2. สแตนเลส	21.02
3. พลาสติกชนิดโพลิเอทิลีน (Polyethylene)	5.56
4. พลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน (Polypropylene)	0.15
5. พลาสติกชนิดโพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride)	0.11
6. จนวน	1.01

เมื่อทราบปริมาณที่ใช้แล้วนำไปคำนวณด้วยวิธีของ *NETS* ดังสมการ (2.1) และ (2.2). ในบทที่ 2

$$ELM_i = \frac{MEV_i}{P_i} \left[\frac{NETS}{ton, kWh, m^3, ..., etc.} \right] \quad (2)$$

$$EcL = \sum (ELM_i \times x_i) [NETS] \quad (3)$$

ตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธี *NETS* ในขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบ

ในการผลิตเหล็ก 1 kg ให้ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ดังตาราง ค.3

ตาราง ค.3 ตัวอย่างจากฐานข้อมูลในการผลิตเหล็ก 1 kg (Frischknecht *et al.*, 1996)

วัตถุดิบ	ปริมาณ (x)	หน่วย
การลดลงของแหล่งทรัพยากร		
Bauxite	2.96E+01	kg
Lead	9.00E+01	kg
Chromium	1.62E-05	kg
Coal	1.14E+00	kg
Natural gas	2.81E-02	m3
Crude oil	8.59E-05	ton
มลภาวะทางอากาศ		
Benzene	3.49E-06	kg
CO	3.00E-02	kg

ตาราง ก.3 ตัวอย่างจากฐานข้อมูลในการผลิตเหล็ก 1 kg (ต่อ)

วัตถุดิบ	ปริมาณ (X_i)	หน่วย
มลภาวะทางอากาศ		
CO ₂	1.61E+00	kg
CH ₄	2.47E-08	kg
NO ₂	2.55E-03	kg
SO ₂	4.89E-03	kg
มลภาวะทางน้ำ		
Benzene	5.69E-07	kg
Arsenic	3.77E-06	kg

ปริมาณเหล็กที่ใช้ใน เครื่องผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร ระยะเวลา 10 ปี เท่ากับ 1.02×10^4 kg สามารถคำนวณหาค่าผลกระทบตามสมการ (2) และ (3) ดังแสดงในตาราง ก.4

ตาราง ก.4 ตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธี NETS ของเหล็ก 0.31 kg

วัตถุดิบ	MEV _i [NETS]	P _i [kg]	ELM _i [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน					
Crude Oil	6.50E+11	1.42E+14	4.58E-03	1.03E-05	4.72E-08
Natural Gas(m ³)	6.50E+11	1.41E+14	4.61E-03	3.37E-06	1.55E-08
Coal	6.50E+11	9.84E+14	6.61E-04	1.49E-04	9.85E-08
Total					1.61E-07
การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ					
Bauxite	6.50E+11	2.50E+13	2.60E-02	4.03E-08	1.05E-09
Lead	6.50E+11	6.40E+10	1.02E+01	1.15E-09	1.17E-08
Chromium	6.50E+11	3.60E+09	1.81E+02	1.94E-09	3.51E-07
Total					3.64E-07
ภาวะโลกร้อน					
CO ₂	6.50E+11	2.07E+15	3.14E-04	1.94E-04	6.08E-08
CH ₄	6.50E+11	1.06E+14	6.13E-03	1.03E-06	6.29E-09
CFC-11	6.50E+11	9.95E+10	6.53E+00	2.66E-13	1.74E-12
Total					6.71E-08

ตาราง ค.4 ตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธี NETS ของเหล็ก 0.31 kg (ต่อ)

วัตถุดิบ	MEV _i [NETS]	P _i [kg]	ELM _i [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
ปัญหาน้ำเสีย					
Arsenic	6.50E+11	5.43E+10	1.22E+00	4.53E-10	5.51E-09
Benzene	6.50E+11	5.43E+10	1.22E+00	8.06E-11	9.82E-10
Total					6.49E-09
ปัญหาอากาศเสีย					
CO	6.50E+11	5.45E+13	1.19E-02	3.60E-06	4.29E-08
Benzene	6.50E+11	1.33E+10	4.89E+01	3.06E-07	6.07E-07
NO ₂	6.50E+11	3.27E+11	1.99E+00	4.90E-10	2.39E-08
SO ₂	6.50E+11	2.18E+11	2.98E+00	5.86E-07	1.75E-06
Total					2.42E-06
ภาวะฝนกรด					
NO ₂	9.70E+09	5.64E+09	1.72E+00	3.06E-07	5.20E-07
SO ₂	9.70E+09	1.28E+10	7.58E-01	5.86E-07	4.40E-07
Total					9.60E-07

- กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้ ด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2 ได้แบ่งกระบวนการผลิตออกเป็น 5 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีการจัดเก็บบัญชีรายการ ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน ถึง 30 กันยายน 2549 สามารถแสดงรายละเอียดการจัดเก็บบัญชีรายการดังตาราง ค.5

ตาราง ก.5 บัญชีรายการในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

ครั้งที่	การเตรียม น้ำมันพืชใช้แล้ว	การทำปฏิกิริยา		แยกกลีเซอริน	การไล่ความชื้นออก จากไบโอดีเซล
	ขยะทั่วไป (ลิตร)	อุณหภูมิน้ำมัน พืชใช้แล้ว (°C)	อุณหภูมิน้ำมันพืช ใช้แล้วก่อนทำ ปฏิกิริยา (°C)	กลีเซอริน (kg)	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)
1	8	26	54	32	15
2	12	27	55	28	14
3	9	28	54	34	15
4	9	27	55	29	17
5	11	26	55	33	17
6	13	28	54	31	18
7	12	26	54	32	18
8	9	27	55	35	17
9	11	28	55	30	16
10	10	27	54	29	16
เฉลี่ย	10.4	27	54.5	31.3	16.3
error	± 4.00%	± 13.33%	± 0.91%	± 4.33%	± 1.88%

จากนั้นนำข้อมูลเหล่านี้ คำนวณหาปริมาณที่เข้า ปริมาณที่ออก ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ แต่ละขั้นตอน ดังแสดงตามตารางบัญชีรายการ 3.3 ในบทที่ 3 แต่จากตารางบัญชีรายการ 3.3 ต้องเปลี่ยนข้อมูลเหล่านั้นเป็นน้ำหนัก เพื่อใช้ในการคำนวณด้วยวิธี *NETS* โดยสามารถหาน้ำหนักจากสมการที่ (1)

ก.6 ค่าความหนาแน่นของวัตถุดิบ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

(Hodgman, C.D. & N.A. Lange, No date)

วัสดุ	ความหนาแน่น (g/cm ³)
1. น้ำมันพืชใช้แล้ว	
- น้ำมันปาล์ม	0.9210 – 0.9240
- น้ำมันมะพร้าว	0.925
- น้ำมันถั่วเหลือง	0.9220 – 0.9270
2. เมทานอล	0.809
3. กรดซัลฟูริก	1.840
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์	2.044

ตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธี NETS ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

จากตารางบัญชีรายการ 3.3 จะเห็นได้ว่าในกระบวนการมีการใช้ไฟฟ้า แต่ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตในประเทศไทยมาจากโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน ดังแสดงในตาราง ก.7 และแสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 kWh

ตาราง ก.7 อัตราส่วนระหว่างโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงต่างๆ กันของประเทศไทย และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 kWh (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน, 2549)

เชื้อเพลิง	อัตราส่วน (%)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง/kWh
ถ่านหินและลิกไนต์	0.35	0.904 kg
น้ำมันเตา	6.96	0.242 liter
น้ำมันดีเซล	15.47	0.200 liter
ก๊าซธรรมชาติ	72.33	8.920 ft ³

จากตาราง ก.7 จะเห็นได้ว่าโรงไฟฟ้ามีอัตราส่วนการผลิตเชื้อเพลิง 95.11% ส่วนอีก 4.89% เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำและการตั้งซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ไม่ได้นำมาพิจารณา

ในบัญชีรายการ 3.3 ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา (ดัง 1) มีการใช้พลังงานไฟฟ้า ทั้งหมด 8.91 kWh แต่วัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเท่ากับ 10 ปี โดย 1 ปี ผลิตไบโอดีเซล

ดีเซล ได้ 42,000 ลิตร ดังนั้นไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 0.074 kWh ซึ่งมาจากการใช้ไฟฟ้าเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ และมีการใช้เชื้อเพลิงดังแสดงตาราง ค.8

ตาราง ค.8 สัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ ในการผลิตกระแสไฟฟ้า 0.074 kWh ในขั้นตอนการไล่น้ำออกจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

เชื้อเพลิง	กระแสไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้
ถ่านหินและลิกไนต์	$0.074 \times 0.0035 = 0.00026$	$0.00026 \times 0.904 = 0.00024 \text{ kg}$
น้ำมันเตา	$0.074 \times 0.0686 = 0.00515$	$0.00515 \times 0.242 = 0.00125 \text{ liter}$
น้ำมันดีเซล	$0.074 \times 0.1547 = 0.01144$	$0.01144 \times 0.200 = 0.00229 \text{ liter}$
ก๊าซธรรมชาติ	$0.074 \times 0.7233 = 0.05352$	$0.05352 \times 8.920 = 0.47740 \text{ ft}^3$

ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าย่อมเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม จากตาราง ก.1 ค่า emission factor ของการผลิตไฟฟ้า 1 kWh ของโรงไฟฟ้าแต่ละชนิด ดังนั้นจากตารางที่ ค.8 สามารถคำนวณ หาผลกระทบจากการใช้ไฟฟ้า 0.074 kWh ที่เกิดขึ้นจากแต่ละโรงไฟฟ้า ดังแสดงได้ในตารางที่ ค.9

ตาราง ค.9 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้กระแสไฟฟ้าของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด 0.074 kWh

Types	kg							
	CO ₂	CO	N ₂ O	NO _x	NM VOC	CH ₄	Dust	SO ₂
ถ่านหิน	1.92E-02	2.99E-06	5.99E-07	8.82E-05	3.00E-07	2.30E-07	7.64E-07	4.82E-05
น้ำมัน	7.31E-06	1.01E-07	1.36E-08	1.31E-06	2.29E-08	4.59E-09	4.93E-07	4.31E-06
ก๊าซธรรมชาติ	3.30E-02	1.03E-05	1.01E-06	7.57E-05	2.21E-06	1.18E-06	4.62E-06	1.01E-07
รวม	5.23E-02	1.33E-05	1.62E-06	1.65E-04	2.53E-06	1.42E-06	5.88E-06	5.27E-05

จากนั้นนำมาคำนวณค่าผลกระทบด้วยวิธี NETS ตามสมการที่ (2) และ (3) สามารถแสดงตารางสรุปได้ดังตาราง ค.10

ตาราง ค.10 ตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธี NETS ของไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการทำปฏิกิริยา

0.074 kWh

วัตถุดิบ	MEV _i [NETS]	P _i [kg]	ELM _i [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน					
Crude Oil (liter)	6.50E+11	1.65E+14	3.94E-03	2.34E-01	1.55E-04
Natural Gas(m ³)	6.50E+11	1.41E+14	4.61E-03	1.35E-02	6.23E-05
Coal	6.50E+11	9.84E+14	6.61E-04	3.54E-03	1.39E-05
Total					2.31E-04
ภาวะโลกร้อน					
CO ₂	6.50E+11	2.07E+15	3.14E-04	5.23E-02	1.64E-05
CH ₄	6.50E+11	1.06E+14	6.13E-03	1.42E-06	8.70E-09
N ₂ O	6.50E+11	7.20E+12	9.03E-02	1.62E-06	1.46E-07
Total					1.66E-05
ปัญหาอากาศเสีย					
CO	6.50E+11	5.45E+13	1.19E-02	1.33E-05	1.59E-07
NO ₂	6.50E+11	3.27E+11	1.99E+00	1.65E-04	3.28E-04
SO ₂	6.50E+11	2.18E+11	2.98E+00	5.27E-05	1.57E-04
Total					4.86E-04
ภาวะฝนกรด					
N ₂ O	9.70E+09	8.86E+09	1.09E+00	1.65E-04	2.81E-04
NO ₂	9.70E+09	5.64E+09	1.72E+00	1.62E-06	1.75E-06
SO ₂	9.70E+09	1.28E+10	7.58E-01	5.27E-05	3.95E-05
Total					3.22E-04

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

- การนำไบโอดีเซลไปใช้งาน

คุณสมบัติของไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล ดังแสดงตามตาราง ก.11

ตาราง ก.11 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ และน้ำมันดีเซล

สูตร	ค่าความร้อน (kJ/kg)				ค่าความหนืด @ 40 °C			
	B0	B25	B75	B100	B0	B25	B75	B100
1	45889.55	45781.03	42478.56	38186.59	3.54	4.35	4.23	4.69
2	45621.13	45732.92	42278.60	38236.29	4.34	4.22	4.44	5.34
3	45855.68	45684.69	42560.66	37746.81	4.83	4.44	4.12	5.22
เฉลี่ย	45788.79	45732.88	42439.27	38056.56	4.24	4.34	4.26	5.08
error	±4.71%	±4.58%	±2.95%	±3.18%	±3.33%	±5.77%	±3.98%	±1.67%

ตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธี NETS ในการนำไบโอดีเซลไปใช้งาน

ได้นำงานวิจัยของ United States Environmental Protection Agency และ The official Site of the National Biodiesel Board มาใช้คำนวณผลกระทบจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งสามารถแสดงค่าผลกระทบได้ดังตาราง ก.12

ตาราง ก.12 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ประเมินค่าเป็น NETS ในแต่ละประเภทผลกระทบจากการใช้งานไบโอดีเซล 1 ลิตร

วัตถุดิบ	MEV _i [NETS]	P _i [kg]	ELM _i [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
ภาวะโลกร้อน					
CO ₂	6.50E+11	2.07E+15	3.14E-04	5.80E-01	1.82E-04
Total					1.82E-04
ปัญหาอากาศเสีย					
CO	6.50E+11	5.45E+13	1.19E-02	7.78E-03	9.28E-05
NO ₂	6.50E+11	3.27E+11	1.99E+00	1.49E-02	2.96E-02
SO ₂	6.50E+11	2.18E+11	2.98E+00	0.00E+00	0.00E+00
Total					2.97E-02
ภาวะฝนกรด					
NO ₂	9.60E+09	5.64E+09	1.70E+00	1.49E-02	2.53E-02
SO ₂	9.60E+09	1.28E+10	7.50E-01	0.00E+00	0.00E+00
Total					2.53E-02



ภาคผนวก ง
การคำนวณต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาคผนวก ง
การคำนวณต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

ข้อมูลของระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2

1. ต้นทุนแรกเริ่ม

- เครื่องผลิตไบโอดีเซล	120,000	บาท
------------------------	---------	-----

2. ต้นทุนค่าดำเนินการ

- น้ำมันพืชใช้แล้ว สารเคมี ไฟฟ้า และน้ำ	690,000	บาท/ปี
- ค่าแรงงาน (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, ตุลาคม 2549)	6,510.33	บาท/เดือน
- บำรุงรักษา	30,000	บาท/ปี

3. ต้นทุนการทดแทนทรัพย์สิน

- ถังปฏิกริยาเคมี	15,000	บาท
- ถังพลาสติก 200 ลิตร	4,000	บาท
- อุปกรณ์เสริมถังพลาสติกต่างๆ เช่น ถังใส่เมทานอล	5,000	บาท
- ฉนวนกันความร้อน ขนาด 1 นิ้ว	3,000	บาท
- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	3,000	บาท
- ท่อส่งน้ำมัน	5,000	บาท
- วาล์ว	7,000	บาท
- ปั๊ม Magnetic Sealless Chemical Pump ขนาด 26 ลิตร/นาที	4,000	บาท
- ปั๊ม Magnetic Sealless Chemical Pump ขนาด 126 ลิตร/นาที	22,000	บาท
- ฮีตเตอร์ไฟฟ้า	17,000	บาท
- ปั๊มลม	1,000	บาท
- Blower ขนาด 2 นิ้ว	1,500	บาท
- ฐานและโครงสร้างอื่นๆ	10,000	บาท

4. รายรับ

มูลค่าซากคิด 10% ของต้นทุนแรกเริ่ม (Michael J. Haas, 2006)

กำหนด อัตราดอกเบี้ย 7.75% ต่อปี อัตราเงินเฟ้อ 3% ต่อปี (ธนาคารแห่งประเทศไทย, มกราคม 2550) และอายุโครงการ 10 ปี

ต้นทุนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ง.1 ต้นทุนที่มักเกิดซ้ำในช่วงเวลาใดๆ (Recurring costs)

คำนวณได้ดังสมการที่ (2.5) ในบทที่ 2

$$P = A \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) \quad (1)$$

ง.1.1 ต้นทุนค่าดำเนินการ

- น้ำมันพืชใช้แล้ว สารเคมี ไฟฟ้า และน้ำ มีต้นทุนเท่ากับ 690,000 บาท/ปี และเพิ่มขึ้นตามอัตราเงินเฟ้อ 3% ต่อปี

สมการที่ (1) เหมาะสำหรับต้นทุนที่จ่ายค่างวด (Annually Uniform Cost: A) เท่ากันตลอดโครงการ ไม่เหมาะกับการนำมาใช้คำนวณหาต้นทุนปัจจุบันที่มีการจ่ายค่างวด เพิ่มขึ้นอย่างละเท่าๆ กัน ตลอดอายุโครงการ สมการที่ (2) สมการคิดมูลค่าปัจจุบันที่มีการจ่ายค่างวดเท่าๆ กัน ทุกปี ตลอดอายุโครงการ

$$P = A_1 \left[\frac{1 - \left(\frac{1+g}{1+i} \right)^n}{i - g} \right] \quad (2)$$

เมื่อ A_1 คือเงินแรกเริ่ม (บาท)
 g คืออัตราที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี
 i คืออัตราดอกเบี้ย

$$P = 690000 \left[\frac{1 - \left(\frac{1+0.03}{1+0.0775} \right)^{10}}{0.0775 - 0.03} \right]$$

$$P = 6,109,759.44 \text{ บาท/ปี}$$

- ค่าแรงงาน 6,510.33 บาท/เดือน หรือเท่ากับ 78,123.96 บาท/ปี และเพิ่มขึ้นตามอัตราเงินเฟ้อ 3% ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$P = 78123.96 \left[\frac{1 - \left(\frac{1+0.03}{1+0.0775} \right)^{10}}{0.0775 - 0.03} \right]$$

$$P = 691,766.09 \text{ บาท/ปี}$$

- ค่าบำรุงรักษา 30,000 บาท/ปี คำนวณโดยใช้สมการที่ (1)

$$P = 30000 \left(\frac{(1+0.0775)^{10} - 1}{0.0775(1+0.0775)^{10}} \right)$$

$$P = 203,592.26 \text{ บาท/ปี}$$

∴ ต้นทุนค่าดำเนินการ ณ เวลาปัจจุบัน เท่ากับ 7,005,117.79 บาท/ปี

ง.2 ต้นทุนที่เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวตลอดโครงการ (Non-recurring costs)

คำนวณได้ดังสมการที่ (2.4) ในบทที่ 2

$$P = F \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (2)$$

ง.2.1 ต้นทุนการทดแทนทรัพย์สิน

ระหว่างกระบวนการผลิตอาจจะต้องมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ หลังจากหมดอายุการใช้งาน โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดมีอายุการใช้งานแสดงดังตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 อายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ (U.S. Department of Natural Resources, 2002 และ The “AZo Journal of Materials Online” , 2006)

อุปกรณ์	อายุการใช้งาน (ปี)
Heat pump, single package, air-to-air	20
Heat pump, single package, water-to-air	20
Heat pump, split system, air-to-air	20
Pumps, centrifugal	20 - 25
Stainless Steel	20
Steel	10
Insulator	3 -5
Plastic, polyethylene	5-10
Plastic, polypropylene	5-10
Plastic, polyvinylchloride	5-10

- จนวน มีอายุการใช้งาน 3 ปี คำนวณมูลค่าปัจจุบัน ดังนี้

$$P_{\text{insulator}} = \text{ค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ปีที่ 3} + \text{ค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ปีที่ 6} + \text{ค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ปีที่ 9} + \text{ค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ปีที่ 10}$$

$$P = 3000 \left(\frac{1}{(1+i)^3} \right) + 3000 \left(\frac{1}{(1+i)^6} \right) + 3000 \left(\frac{1}{(1+i)^9} \right) + 3000 \left(\frac{1}{(1+i)^{10}} \right)$$

$$P = 2,398.11 + 1,916.98 + 1,532.38 + 1,422.16$$

$$P = 7,269.63 \quad \text{บาท/ปี}$$

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

- ถังพลาสติก ท่อส่งน้ำมัน และอุปกรณ์เสริมต่างๆ มีอายุการใช้งาน 5 ปี คำนวณมูลค่าปัจจุบัน ดังนี้

รายการ	ราคา × จำนวนที่ใช้ (A) (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (P) (บาท/ปี)
ถังพลาสติก 200 ลิตร	$3,000 \times 3 = 9,000$	10,463.12
ท่อส่งน้ำมัน	$5,000 \times 1 = 5,000$	5,812.84
อุปกรณ์เสริมต่างๆ	$5,000 \times 1 = 5,000$	5,812.84
รวม		22,088.80

∴ ต้นทุนค่าทดแทนทรัพย์สิน ณ เวลาปัจจุบัน เท่ากับ 29,358.43 บาท/ปี

ง.2.2 รายรับ

- มูลค่าซาก คิด 10% ของต้นทุนแรกเริ่ม ดังนั้นมูลค่าซาก เท่ากับ 12,000 บาท
คำนวณมูลค่าปัจจุบัน เท่ากับ

$$P = 12000 \left(\frac{1}{(1 + 0.0775)^{10}} \right)$$

$$P = 5,688.64 \text{ บาท/ปี}$$

∴ รายรับ (มูลค่าซาก) ณ เวลาปัจจุบัน เท่ากับ 5,688.64 บาท/ปี

จากสมการที่ (2.3) ในบทที่ 2 สามารถคำนวณต้นทุนได้ดังนี้

$$LCC = C_{pw} + M_{pw} + F_{pw} + R_{pw} - S_{pw} \quad (3)$$

$$LCC = 120,000 + 7,005,117.79 + 29,358.43 - 5,688.64$$

$$= 7,148,787.58 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล (บาท/ลิตร)} = \frac{\text{ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล (บาท/ปี)}}{\text{ปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้ (ลิตร/ปี)}}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุน} &= \frac{7148787.58 \text{ Baht / year}}{42000 \times 10 \text{ liter / year}} \\ &= 17.02 \text{ บาท/ลิตร} \end{aligned}$$

∴ ต้นทุนไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 17.02 บาท/ลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



ภาคผนวก จ

ข้อมูลคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันดีเซล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาคผนวก จ

ข้อมูลคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันคัสเชอจ.1 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล

CMU-2

- ขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบ ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว (เครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2)

ตาราง จ.1.1 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของเหล็ก (Frischknecht *et al.*, 1996)

Type	ELM [NETS/kg]	X_i [kg]	EcL [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Crude oil	4.58E-03	1.03E-05	4.72E-08
Natural Gas (m ³)	4.61E-03	3.37E-06	1.55E-08
Coal	6.61E-04	1.49E-04	9.85E-08
Uranium	1.65E+02	8.40E-10	1.38E-07
Total			2.99E-07
การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ			
Bauxite	2.60E-02	4.03E-08	1.05E-09
Chromium	1.81E+02	1.94E-09	3.51E-07
Cobalt	1.44E+02	1.94E-09	2.81E-07
Copper	1.91E+02	1.04E-08	1.99E-06
Lead	1.02E+01	1.15E-09	1.17E-08
Manganese	9.56E-01	1.15E-09	1.10E-09
Molybdenum	1.18E+02	2.86E-15	3.38E-13
Nickel	1.41E+01	8.41E-10	1.19E-08
Platinum	9.15E+02	1.84E-15	1.68E-12
Rhenium	2.60E+05	1.64E-15	4.27E-10
Silver	2.32E+03	3.24E-11	7.52E-08
Tin	8.44E+01	1.80E-11	1.52E-09
Zinc	3.42E+00	8.42E-11	2.88E-10

ตาราง จ.1.1 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของเหล็ก (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
Total			2.72E-06
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	1.94E-04	6.08E-08
CH ₄	6.13E-03	1.03E-06	6.29E-09
N ₂ O	9.03E-02	2.03E-09	1.83E-10
CFC-11	6.53E+00	2.66E-13	1.74E-12
HCFC-22	5.24E+00	6.29E-14	3.30E-13
Total			6.73E-08
การลดลงของโอโซน			
CFC-11	9.03E+00	2.66E-13	2.41E-12
CFC-12	9.03E+00	5.72E-14	5.17E-13
HCFC-22	4.92E-01	6.29E-14	3.10E-14
Total			2.95E-12
ปัญหาน้ำเสีย			
Cadmium	1.22E+01	2.02E-11	2.46E-10
Lead	1.22E+01	3.67E-09	4.47E-08
Arsenic	1.22E+01	4.53E-10	5.51E-09
Mercury	2.43E+02	6.68E-12	1.63E-09
Benzene	1.22E+01	8.06E-11	9.82E-10
Selenium	1.22E+01	1.11E-09	1.35E-08
Boron	1.22E-01	4.43E-11	5.39E-12
Total			6.66E-08
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	3.60E-06	4.29E-08
NO ₂	1.99E+00	3.06E-07	6.07E-07
Benzene	4.89E+01	4.90E-10	2.39E-08
SO ₂	2.98E+00	5.86E-07	1.75E-06
Total			2.42E-06
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	3.06E-07	5.20E-07
N ₂ O	1.08E+00	2.03E-09	2.20E-09

ตาราง จ.1.1 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของเหล็ก (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
SO ₂	7.50E-01	5.86E-07	4.40E-07
Total			9.62E-07

ตาราง จ.1.2 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของเหล็กกล้าไร้สนิม (Frischknecht *et al.*, 1996)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Crude oil	4.58E-03	5.70E-06	2.61E-08
Natural Gas (m ³)	4.61E-03	2.19E-06	1.01E-08
Coal	6.61E-04	7.34E-05	4.85E-08
Uranium	1.65E+02	4.20E-10	6.90E-08
Total			1.54E-07
การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ			
Bauxite	2.60E-02	1.49E-06	3.86E-08
Chromium	1.81E+02	5.00E-07	9.03E-05
Cobalt	1.44E+02	2.62E-15	3.78E-13
Copper	1.91E+02	5.70E-09	1.09E-06
Lead	1.02E+01	5.85E-10	5.94E-09
Manganese	9.56E-01	6.25E-07	5.97E-07
Molybdenum	1.18E+02	1.46E-15	1.73E-13
Nickel	1.41E+01	4.21E-10	5.95E-09
Platinum	9.15E+02	9.75E-16	8.93E-13
Rhenium	2.60E+05	8.80E-16	2.29E-10
Silver	2.32E+03	1.79E-11	4.14E-08
Tin	8.44E+01	9.90E-12	8.36E-10
Zinc	3.42E+00	4.02E-11	1.37E-10
Total			9.21E-05
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	9.84E-05	3.09E-08
CH ₄	6.13E-03	5.07E-07	3.11E-09
N ₂ O	9.03E-02	1.12E-09	1.01E-10
CFC-11	6.53E+00	1.33E-13	8.69E-13

ตาราง จ.1.2 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของเหล็กกล้าไร้สนิม (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
HCFC-22	5.24E+00	3.15E-14	1.65E-13
Total			3.41E-08
การลดลงของโอโซน			
CFC-11	9.03E+00	1.33E-13	1.20E-12
CFC-12	9.03E+00	2.86E-14	2.58E-13
HCFC-22	4.92E-01	3.15E-14	1.55E-14
Total			1.47E-12
ปัญหาน้ำเสีย			
Cadmium	1.22E+01	1.03E-11	1.25E-10
Lead	1.22E+01	1.79E-09	2.17E-08
Arsenic	1.22E+01	2.22E-10	2.70E-09
Mercury	2.43E+02	3.23E-12	7.87E-10
Benzene	1.22E+01	4.44E-11	5.41E-10
Selenium	1.22E+01	5.45E-10	6.63E-09
Boron	1.22E-01	2.49E-11	3.04E-12
Total			3.25E-08
ปัญหอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	1.74E-06	2.08E-08
NO ₂	1.99E+00	1.56E-07	3.11E-07
Benzene	4.89E+01	2.56E-10	1.25E-08
SO ₂	2.98E+00	3.14E-07	9.35E-07
Total			1.28E-06
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	1.56E-07	2.66E-07
N ₂ O	1.08E+00	1.12E-09	1.21E-09
SO ₂	7.50E-01	3.14E-07	2.35E-07
Total			5.03E-07

ตาราง จ.1.3 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของพลาสติกชนิด โพลีเอทิลีน (Frischknecht *et al.*, 1996)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Crude oil	4.58E-03	2.09E-05	9.58E-08
Natural Gas (m ³)	4.61E-03	3.07E-05	1.42E-07
Coal	6.61E-04	5.09E-06	3.36E-09
Uranium	1.65E+02	9.01E-11	1.48E-08
Total			2.56E-07
การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ			
Bauxite	2.60E-02	7.95E-09	2.07E-10
Iron ore	4.64E-03	5.30E-09	2.46E-11
Total			2.31E-10
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	5.83E-05	1.83E-08
CH ₄	6.13E-03	1.11E-07	6.83E-10
N ₂ O	9.03E-02	1.59E-10	1.44E-11
Total			1.90E-08
ปัญหาน้ำเสีย			
Cadmium	1.22E+01	4.71E-15	5.74E-14
Lead	1.22E+01	1.89E-13	2.30E-12
Arsenic	1.22E+01	5.28E-14	6.43E-13
Mercury	2.43E+02	3.77E-16	9.18E-14
Total			3.09E-12
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	2.12E-08	2.53E-10
NO ₂	1.99E+00	2.92E-07	5.79E-07
Benzene	4.89E+01	1.06E-10	5.18E-09
SO ₂	2.98E+00	1.86E-07	5.53E-07
Total			1.14E-06
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	2.92E-07	4.96E-07
N ₂ O	1.08E+00	1.59E-10	1.72E-10
SO ₂	7.50E-01	1.86E-07	1.39E-07

ตาราง จ.1.3 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีน (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
Total			6.35E-07
ปัญหาขยะ			
Industrial waste	2.98E-02	9.06E-07	2.70E-08
Total			2.70E-08

ตาราง จ.1.4 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน
(Schriftenreihe Umwelt, 1996)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Crude oil	4.58E-03	9.28E-09	4.25E-11
Natural Gas (m ³)	4.61E-03	1.63E-10	7.52E-13
Coal	6.61E-04	2.18E-09	1.44E-12
Uranium	1.65E+02	8.11E-14	1.33E-11
Total			5.80E-11
การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ			
Bauxite	2.60E-02	2.14E-12	5.57E-14
Chromium	1.81E+02	1.06E-13	1.92E-11
Cobalt	1.44E+02	4.78E-19	6.91E-17
Copper	1.91E+02	9.28E-13	1.77E-10
Lead	1.02E+01	8.21E-14	8.34E-13
Manganese	9.56E-01	2.27E-14	2.17E-14
Molybdenum	1.18E+02	2.01E-17	2.37E-15
Nickel	1.41E+01	7.19E-14	1.02E-12
Platinum	9.15E+02	9.44E-17	8.64E-14
Rhenium	2.60E+05	7.09E-17	1.84E-11
Silver	2.32E+03	2.93E-14	6.79E-11
Tin	8.44E+01	1.63E-14	1.37E-12
Zinc	3.42E+00	2.76E-15	9.46E-15
Total			2.86E-10
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	1.58E-08	4.97E-12

ตาราง จ.1.4 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
CH ₄	6.13E-03	5.48E-11	3.36E-13
N ₂ O	9.03E-02	2.44E-13	2.20E-14
CFC-11	6.53E+00	2.57E-17	1.68E-16
HCFC-22	5.24E+00	6.07E-18	3.18E-17
Total			5.33E-12
การลดลงของโอโซน			
CFC-11	9.03E+00	2.57E-17	2.32E-16
CFC-12	9.03E+00	5.51E-18	4.97E-17
HCFC-22	4.92E-01	6.07E-18	2.99E-18
Total			2.85E-16
ปัญหาน้ำเสีย			
Cadmium	1.22E+01	6.53E-16	7.95E-15
Lead	1.22E+01	1.09E-14	1.33E-13
Arsenic	1.22E+01	3.62E-15	4.40E-14
Mercury	2.43E+02	1.27E-17	3.09E-15
Benzene	1.22E+01	1.25E-13	1.53E-12
Selenium	1.22E+01	8.50E-15	1.04E-13
Boron	1.22E-01	1.82E-14	2.21E-15
Total			1.82E-12
ปัญหอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	6.26E-12	7.46E-14
NO ₂	1.99E+00	2.26E-10	4.50E-10
Benzene	4.89E+01	9.63E-14	4.71E-12
SO ₂	2.98E+00	1.13E-10	3.38E-10
Total			7.93E-10
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	2.26E-10	3.86E-10
N ₂ O	1.08E+00	2.44E-13	2.64E-13
SO ₂	7.50E-01	1.13E-10	8.49E-11
Total			4.71E-10

ตาราง จ.1.5 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของพลาสติกชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์

(Ecoprofiles for the European plastics industry, 1997)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Crude oil (liter)	3.94E-03	2.20E-06	8.67E-09
Natural Gas (m ³)	4.61E-03	2.37E-09	1.09E-11
Coal	6.61E-04	2.63E-07	1.74E-10
Total			8.86E-09
การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ			
Bauxite	2.60E-02	1.69E-12	4.40E-14
Fluorspar	3.10E+01	7.74E-15	2.40E-13
Lead	1.02E+01	9.78E-15	9.97E-14
Manganese	9.65E-01	3.94E-17	3.80E-17
Nickel	1.41E+01	4.83E-17	6.81E-16
Retile	1.51E+01	1.76E-28	2.66E-27
Zinc	3.42E+00	3.68E-16	1.26E-15
Total			3.86E-13
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	9.15E-09	2.87E-12
CH ₄	6.13E-03	3.76E-11	2.31E-13
N ₂ O	9.03E-02	5.59E-16	5.05E-17
Total			3.10E-12
ปัญหาน้ำเสีย			
Lead	1.22E+01	1.30E-17	1.58E-16
Arsenic	1.22E+01	3.31E-19	4.03E-18
Mercury	2.43E+02	8.07E-17	1.96E-14
Total			1.98E-14
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	9.67E-12	1.15E-13
NO ₂	1.99E+00	4.80E-11	9.53E-11
SO ₂	2.98E+00	4.43E-11	1.32E-10
Total			2.28E-10

ตาราง จ.1.5 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของพลาสติกชนิดโพลิไวนิลคลอไรด์ (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	4.80E-11	8.16E-11
N ₂ O	1.08E+00	5.59E-16	6.06E-16
SO ₂	7.50E-01	4.43E-11	3.32E-11
Total			1.15E-10
ปัญหาขยะ			
Industrial waste	2.98E-02	3.61E-10	1.07E-11
General waste	1.93E-02	2.67E-13	5.16E-15
Total			1.08E-11

ตาราง จ.1.6 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของฉนวนกันความร้อน (Frischknecht *et al.*, 1996)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Crude oil	4.58E-03	1.01E-06	4.62E-09
Natural Gas (m ³)	4.61E-03	6.90E-07	3.18E-09
Coal	6.61E-04	4.70E-06	3.10E-09
Uranium	1.65E+02	4.13E-11	6.79E-09
Total			1.77E-08
การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ			
Bauxite	2.60E-02	1.66E-09	4.33E-11
Chromium	1.81E+02	7.67E-11	1.38E-08
Cobalt	1.44E+02	1.51E-15	2.18E-13
Copper	1.91E+02	4.78E-10	9.14E-08
Lead	1.02E+01	1.18E-10	1.20E-09
Manganese	9.56E-01	2.91E-11	2.79E-11
Molybdenum	1.18E+02	1.13E-15	1.33E-13
Nickel	1.41E+01	4.37E-11	6.17E-10
Platinum	9.15E+02	3.12E-15	2.85E-12
Rhenium	2.60E+05	2.40E-15	6.23E-10
Silver	2.32E+03	3.17E-12	7.37E-09
Tin	8.44E+01	1.77E-12	1.49E-10

ตาราง จ.1.6 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของฉนวนกันความร้อน (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
Zinc	3.42E+00	3.47E-12	1.19E-11
Total			1.15E-07
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	1.33E-05	4.16E-09
CH ₄	6.13E-03	3.66E-08	2.24E-10
N ₂ O	9.03E-02	1.96E-10	1.77E-11
CFC-11	6.53E+00	1.31E-14	8.55E-14
HCFC-22	5.24E+00	3.09E-15	1.62E-14
Total			4.41E-09
การลดลงของโอโซน			
CFC-11	9.03E+00	1.31E-14	1.18E-13
CFC-12	9.03E+00	2.81E-15	2.54E-14
HCFC-22	4.92E-01	3.09E-15	1.52E-15
Total			1.45E-13
ปัญหาน้ำเสีย			
Cadmium	1.22E+01	4.96E-13	6.04E-12
Lead	1.22E+01	3.44E-11	4.18E-10
Arsenic	1.22E+01	1.32E-11	1.61E-10
Mercury	2.43E+02	5.87E-15	1.43E-12
Benzene	1.22E+01	8.33E-12	1.01E-10
Selenium	1.22E+01	3.30E-11	4.02E-10
Boron	1.22E-01	2.93E-12	3.56E-13
Total			1.09E-09
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	7.23E-07	8.63E-09
Benzene	4.89E+01	9.43E-11	4.61E-09
SO ₂	2.98E+00	4.32E-08	1.29E-07
Total			1.42E-07
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.59E+00	2.03E-08	3.23E-08
N ₂ O	1.08E+00	1.96E-10	2.12E-10

ตาราง จ.1.6 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของฉนวนกันความร้อน (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
SO ₂	7.50E-01	4.32E-08	3.24E-08
Total			6.49E-08

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2 แบ่งขั้นตอนการผลิตออกเป็นทั้งหมด 5 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอน มีค่าผลกระทบ ดังนี้

จ.1.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

ตาราง จ.1.7 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
ปัญหาขยะ			
General waste	1.93E-02	7.14E-02	1.38E-03
Total			1.38E-03

จ.1.2 ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน คือ การไล่น้ำมันออกจากน้ำมันพืชใช้แล้ว การปรับสภาพก่อนปฏิกิริยา และการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้า และสารเคมี ดังนี้

ตาราง จ.1.8 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ในขั้นตอนการทำปฏิกิริยา

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Coal	6.61E-04	2.34E-01	1.54E-04
Natural Gas (m ³)	4.61E-03	1.35E-02	6.22E-05
Crude oil (liter)	3.94E-03	3.53E-03	1.39E-05
Total			2.31E-04
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	5.22E-02	1.64E-05
CH ₄	6.13E-03	1.42E-06	8.68E-09
N ₂ O	9.03E-02	1.61E-06	1.46E-07

ตาราง จ.1.8 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ในขั้นตอนการทำปฏิกิริยา (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X_i [kg]	EcL [NETS]
Total			1.65E-05
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	1.33E-05	1.59E-07
NO ₂	1.99E+00	1.65E-04	3.28E-04
SO ₂	2.98E+00	5.26E-05	1.57E-04
Total			4.85E-04
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	1.65E-04	2.81E-04
N ₂ O	1.08E+00	1.61E-06	1.75E-06
SO ₂	7.50E-01	5.26E-05	3.94E-05
Total			3.22E-04

ตาราง จ.1.9 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของเมทานอล (Sheehan Jon and *et al.*, 1998)

Type	ELM [NETS/kg]	X_i [kg]	EcL [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Coal	6.61E-04	2.06E-04	1.36E-07
Natural Gas	6.19E-03	9.49E-03	5.87E-05
Crude oil	4.58E-03	7.09E-06	3.25E-08
Uranium	1.65E+02	4.93E-09	8.11E-07
Total			5.97E-05
ภาวะโลกร้อน			
CH ₄	6.13E-03	2.74E-04	1.68E-06
CO ₂	3.14E-04	3.59E-02	1.13E-05
N ₂ O	9.03E-02	3.49E-07	3.15E-08
Total			1.30E-05
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	1.13E-05	1.35E-07
NO ₂	1.99E+00	6.43E-05	1.28E-04
SO ₂	2.98E+00	1.26E-03	3.76E-03
Total			3.89E-03

ตาราง จ.1.9 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของเมทานอล (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
ภาวะฝนกรด			
N ₂ O	1.08E+00	3.49E-07	3.78E-07
NO ₂	1.70E+00	6.43E-05	1.09E-04
SO ₂	7.50E-01	1.26E-03	9.46E-04
Total			1.06E-03
ปัญหาขยะ			
Industrial waste	2.98E-02	5.02E-08	1.50E-09
General waste	1.93E-02	4.35E-04	8.40E-06
Total			8.41E-06

ตาราง จ.1.10 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของกรดซัลฟูริก (Frischknecht *et al.*, 1996)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Crude oil	4.58E-03	1.98E-05	9.07E-08
Natural Gas (m ³)	4.61E-03	1.13E-04	5.21E-07
Coal	6.61E-04	1.39E-04	9.16E-08
Uranium	1.65E+02	5.18E-09	8.52E-07
Total			1.56E-06
การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ			
Bauxite	2.60E-02	2.62E-07	6.81E-09
Chromium	1.81E+02	9.20E-09	1.66E-06
Cobalt	1.44E+02	1.37E-14	1.98E-12
Copper	1.91E+02	7.04E-08	1.35E-05
Lead	1.02E+01	5.10E-09	5.18E-08
Manganese	9.56E-01	5.96E-09	5.70E-09
Molybdenum	1.18E+02	9.00E-15	1.06E-12
Nickel	1.41E+01	3.64E-09	5.14E-08
Platinum	9.15E+02	3.24E-15	2.97E-12
Rhenium	2.60E+05	2.92E-15	7.59E-10
Silver	2.32E+03	6.24E-11	1.45E-07
Tin	8.44E+01	3.46E-11	2.92E-09

ตาราง จ.1.10 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของกรดซัลฟูริก (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
Zinc	3.42E+00	5.74E-10	1.96E-09
Total			1.54E-05
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	4.63E-04	1.45E-07
CH ₄	6.13E-03	1.02E-06	6.24E-09
N ₂ O	9.03E-02	1.18E-08	1.06E-09
CFC-11	6.53E+00	1.64E-12	1.07E-11
HCFC-22	5.24E+00	3.90E-13	2.04E-12
Total			1.53E-07
การลดลงของโอโซน			
CFC-11	9.03E+00	1.64E-12	1.48E-11
CFC-12	9.03E+00	3.52E-13	3.18E-12
HCFC-22	4.92E-01	3.90E-13	1.92E-13
Total			1.82E-11
ปัญหาน้ำเสีย			
Cadmium	1.22E+01	1.34E-11	1.64E-10
Lead	1.22E+01	6.46E-10	7.87E-09
Arsenic	1.22E+01	2.04E-10	2.49E-09
Mercury	2.43E+02	6.38E-13	1.55E-10
Benzene	1.22E+01	1.72E-10	2.09E-09
Selenium	1.22E+01	5.14E-10	6.26E-09
Boron	1.22E-01	1.84E-10	2.24E-11
Total			1.90E-08
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	2.19E-07	2.62E-09
Benzene	4.89E+01	2.10E-09	1.02E-07
NO ₂	1.99E+00	7.68E-07	1.53E-06
SO ₂	2.98E+00	1.22E-05	3.62E-05
Total			3.79E-05
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.59E+00	7.68E-07	1.22E-06

ตาราง จ.1.10 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของกรดซัลฟูริก (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
N ₂ O	1.08E+00	1.18E-08	1.27E-08
SO ₂	7.50E-01	1.22E-05	9.11E-06
Total			1.03E-05

จ.1.3 ขั้นตอนการแยกกลีเซอริน

ตาราง จ.1.11 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของไนในขั้นตอนการแยกกลีเซอริน

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
ปัญหาขยะ			
General waste	1.93E-02	2.50E-01	4.83E-03
Total			4.83E-03

จ.1.4 ขั้นตอนการไล่ความชื้นออกจากไบโอดีเซล

ตาราง จ.1.12 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของไฟฟ้าในขั้นตอนการไล่ความชื้นออกจากไบโอดีเซล

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Coal	6.61E-04	4.75E-02	3.14E-05
Natural Gas (m ³)	4.61E-03	2.74E-03	1.26E-05
Crude oil (liter)	3.94E-03	7.17E-04	2.82E-06
Total			4.68E-05
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	1.06E-02	3.33E-06
CH ₄	6.13E-03	2.87E-07	1.76E-09
N ₂ O	9.03E-02	3.28E-07	2.96E-08
Total			3.36E-06
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	2.71E-06	3.23E-08
NO ₂	1.99E+00	3.35E-05	6.66E-05
SO ₂	2.98E+00	1.07E-05	3.18E-05
Total			9.84E-05

ตาราง จ.1.12 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของไฟฟ้าในขั้นตอนการไล่ความชื้นออกจาก
ไบโอดีเซล (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	3.35E-05	5.70E-05
N ₂ O	1.08E+00	3.28E-07	3.55E-07
SO ₂	7.50E-01	1.07E-05	8.01E-06
Total			6.54E-05

- **การใช้งานไบโอดีเซล**

ตาราง จ.1.13 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของการใช้งานไบโอดีเซลสูตร B100 จำนวน 1 ลิตร

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	5.80E-01	1.82E-04
Total			1.82E-04
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	7.78E-03	9.28E-05
NO ₂	1.99E+00	1.49E-02	2.96E-02
Total			2.97E-02
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	1.49E-02	2.53E-02
Total			2.53E-02

จ.2 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของน้ำมันดีเซล

- วัตถุดิบในการผลิตน้ำมันดีเซล

ตาราง จ.2.1 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของน้ำมันดิบ (Crude oil)

(Frischknecht *et al.*, 1996)

Type	ELM [NETS/kg]	X _i [kg]	EcL [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Crude oil	4.58E-03	1.87E+00	8.54E-03
Natural Gas (m ³)	4.61E-03	7.30E-04	3.36E-06
Coal	6.61E-04	1.47E-02	9.70E-06
Uranium	1.65E+02	2.96E-07	4.87E-05
Total			8.60E-03
การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ			
Bauxite	2.60E-02	2.74E-05	7.12E-07
Chromium	1.81E+02	2.11E-06	3.81E-04
Cobalt	1.44E+02	8.11E-11	1.17E-08
Copper	1.91E+02	1.23E-05	2.35E-03
Lead	1.02E+01	3.21E-06	3.26E-05
Manganese	9.56E-01	1.09E-06	1.04E-06
Molybdenum	1.18E+02	1.85E-11	2.19E-09
Nickel	1.41E+01	1.01E-06	1.43E-05
Platinum	9.15E+02	6.34E-12	5.81E-09
Rhenium	2.60E+05	5.59E-12	1.45E-06
Tin	8.44E+01	7.30E-08	6.16E-06
Zinc	3.42E+00	8.77E-08	3.00E-07
Total			2.79E-03
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	9.09E-04	2.85E-07
CH ₄	6.13E-03	7.20E-03	4.42E-05
N ₂ O	9.03E-02	1.45E-05	1.31E-06
CFC-11	6.53E+00	9.38E-11	6.13E-10
HCFC-22	5.24E+00	2.27E-11	1.19E-10
Total			4.58E-05

ตาราง จ.2.1 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของน้ำมันดิบ (Crude oil) (ต่อ)

Type	ELM [NETS/kg]	X_i [kg]	EcL [NETS]
การลดลงของโอโซน			
CFC-11	9.03E+00	9.38E-11	8.47E-10
CFC-12	9.03E+00	2.01E-11	1.82E-10
HCFC-22	4.92E-01	2.27E-11	1.12E-11
Total			1.04E-09
ปัญหาน้ำเสีย			
Cadmium	1.22E+01	3.65E-08	4.45E-07
Lead	1.22E+01	2.16E-07	2.63E-06
Arsenic	1.22E+01	4.18E-08	5.08E-07
Mercury	2.43E+02	3.61E-10	8.78E-08
Benzene	1.22E+01	1.57E-05	1.91E-04
Selenium	1.22E+01	8.57E-08	1.04E-06
Boron	1.22E-01	1.78E-07	2.16E-08
Total			1.96E-04
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	9.09E-04	1.08E-05
NO ₂	1.99E+00	2.59E-03	5.16E-03
Benzene	4.89E+01	5.16E-07	2.52E-05
SO ₂	2.98E+00	9.39E-04	2.80E-03
Total			7.99E-03
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	2.59E-03	4.41E-03
SO ₂	7.50E-01	9.39E-04	7.05E-04
N ₂ O	1.08E+00	1.45E-05	1.57E-05
Total			5.14E-03

กระบวนการกลั่นน้ำมันดีเซล

ตาราง ๑.๒.๒ การคำนวณด้วยวิธี NETS ของการกลั่นน้ำมันดีเซล (Frischknecht *et al.*, 1996)

Type	ELM[NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Crude oil	4.58E-03	9.74E-01	4.46E-03
Natural Gas (m ³)	4.61E-03	1.80E-03	8.31E-06
Coal	6.61E-04	2.69E-02	1.78E-05
Uranium	1.65E+02	8.47E-07	1.39E-04
Total			4.62E-03
การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ			
Bauxite	2.60E-02	4.17E-05	1.08E-06
Chromium	1.81E+02	4.55E-06	8.22E-04
Cobalt	1.44E+02	2.85E-09	4.11E-07
Copper	1.91E+02	1.66E-05	3.17E-03
Lead	1.02E+01	2.68E-06	2.72E-05
Manganese	9.56E-01	1.26E-06	1.20E-06
Molybdenum	1.18E+02	5.70E-10	6.73E-08
Nickel	1.41E+01	2.88E-06	4.08E-05
Platinum	9.15E+02	8.34E-11	7.63E-08
Rhenium	2.60E+05	7.87E-11	2.05E-05
Tin	8.44E+01	1.71E-06	1.44E-04
Zinc	3.42E+00	2.64E-07	9.03E-07
Total			4.22E-03
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	3.85E-01	1.21E-04
CH ₄	6.13E-03	3.89E-03	2.38E-05
N ₂ O	9.03E-02	9.84E-06	8.88E-07
CFC-11	6.53E+00	2.68E-10	1.75E-09
HCFC-22	5.24E+00	6.38E-11	3.34E-10
Total			1.46E-04
การลดลงของโอโซน			
CFC-11	9.03E+00	2.68E-10	2.42E-09

ตาราง จ.2.2 การคำนวณด้วยวิธี *NETS* ของการกลั่นน้ำมันดีเซล (ต่อ)

Type	ELM[NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
CFC-12	9.03E+00	5.78E-11	5.22E-10
HCFC-22	4.92E-01	6.38E-11	3.14E-11
Total			2.98E-09
ปัญหาน้ำเสีย			
Cadmium	1.22E+01	5.97E-08	7.27E-07
Lead	1.22E+01	2.78E-07	3.38E-06
Arsenic	1.22E+01	9.07E-08	1.10E-06
Mercury	2.43E+02	8.08E-10	1.97E-07
Benzene	1.22E+01	7.54E-06	9.18E-05
Selenium	1.22E+01	1.58E-07	1.93E-06
Boron	1.22E-01	1.68E-06	2.04E-07
Total			9.94E-05
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	5.76E-04	6.87E-06
NO ₂	1.99E+00	1.81E-03	3.60E-03
Benzene	4.89E+01	9.38E-06	4.58E-04
SO ₂	2.98E+00	2.30E-03	6.86E-03
Total			1.09E-02
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	1.81E-03	3.09E-03
N ₂ O	1.08E+00	9.84E-06	1.07E-05
SO ₂	7.50E-01	2.30E-03	1.72E-03
Total			4.82E-03

การใช้งานน้ำมันดีเซล

ตาราง จ.2.3 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของการใช้งานดีเซลจำนวน 1 ลิตร

Type	ELM[NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Crude oil (liter)	4.58E-03	1.00E+00	4.58E-03
Total			4.58E-03
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	2.69E+00	8.45E-04
Total			8.45E-04
ปัญหามลพิษ			
CO	1.19E-02	1.50E-02	1.79E-04
NO ₂	1.99E+00	1.35E-02	2.69E-02
SO ₂	2.98E+00	6.64E-02	1.98E-01
Total			2.25E-01
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	1.35E-02	2.30E-02
SO ₂	7.50E-01	6.64E-02	4.98E-02
Total			7.28E-02

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

จ.3 ข้อมูลการคำนวณด้วยวิธี NETS ของการนำไบโอดีเซลสูตรต่างๆ ไปใช้งาน

ตาราง จ.3.1 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตร B25 จำนวน 1 ลิตร

Type	ELM[NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Crude oil (liter)	4.58E-03	7.50E-01	3.43E-03
Total			3.43E-03
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	2.16E+00	6.79E-04
Total			6.79E-04
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	1.27E-02	1.52E-04
NO ₂	1.99E+00	1.38E-02	2.75E-02
SO ₂	2.98E+00	4.98E-02	1.48E-01
Total			1.76E-01
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	1.38E-02	2.35E-02
SO ₂	7.50E-01	4.98E-02	3.74E-02
Total			6.09E-02

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ตาราง จ.3.2 การคำนวณด้วยวิธี NETS ของการใช้งานไบโอดีเซลสูตร B75 จำนวน 1 ลิตร

Type	ELM[NETS/kg]	X _i [kg]	E _{cL} [NETS]
การลดลงของแหล่งพลังงาน			
Crude oil (liter)	4.58E-03	2.50E-01	1.14E-03
Total			1.14E-03
ภาวะโลกร้อน			
CO ₂	3.14E-04	1.11E+00	3.48E-04
Total			3.48E-04
ปัญหาอากาศเสีย			
CO	1.19E-02	9.17E-03	1.09E-04
NO ₂	1.99E+00	1.45E-02	2.89E-02
SO ₂	2.98E+00	1.66E-02	4.95E-02
Total			7.85E-02
ภาวะฝนกรด			
NO ₂	1.70E+00	1.45E-02	2.47E-02
SO ₂	7.50E-01	1.66E-02	1.25E-02
Total			3.71E-02

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF METHYL ESTER FROM USED COOKING OILS IN THE SMALL SCALE PRODUCTION

Juntima Rewlayngean¹ and Sate Sampattagul²

¹Graduate Student Energy Engineering Program Faculty of Engineering,
Chiang Mai University, Thailand 50200
E-mail: juntima_ann@yahoo.com

²Thermal System Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Chiang Mai University, Thailand 50200

ABSTRACT

Oil price in the world's market is tremendously increasing. One important factor is because of the huge in energy consumption from all around the world. Thailand is a country that relies on this primary energy and has to import large amount of oil each year. Therefore, it is necessary to develop the alternative energy which can provide the same function but cheaper price. Bio-diesel is one of the selective fuels as it has very similar properties to petroleum-based diesel.

In order to generate bio-diesel, it needs to input much amount of materials and energy which certainly affect to the environment. Therefore, to quantify and verify the advantages and useful of bio-diesel, it is necessary to assess the bio-diesel from the life cycle point of views. The objective of this paper is to analyze the environmental impacts of bio-diesel from life cycle assessment (LCA) aspect of which the *NETS* scheme is applied in this study.

As the result according to the Life cycle thinking point of view, the environmental load by assessment tools are discussed and the green bio-diesel technology is recommended for further ecological and economical improvement.

Keywords Bio-diesel, Life Cycle Assessment, Used Cooking Oils, Methyl Ester, Transesterification

1. INTRODUCTION

Thailand imports more than 100 million liters of petroleum oil from foreign country each year of which 46% is diesel. This brings the country's economy undoubtedly vulnerable. With the continuous rising of local and global oil prices, the government has decided to launch the National Alternative Fuel Strategy since 2000 to stimulate the development of renewable fuels from locally available materials. Bio-diesel has instantly gained recognition.

There are several kinds of material that can develop as diesel blended fuel, for example, vegetable oils, animal oils, and used cooking oils. While the used cooking oil seems to be very interesting since the oil residue should be ecological eliminated. Bio-diesel from used cooking oils can be produced by using chemical process to form the methyl ester, in which the product has similar properties with diesel oil.

However, in the production stage of bio-diesel needs materials, chemicals and energy inputs that contribute to the environmental impacts. In order to clarify the useful of bio-diesel, it is necessary to apply the Life Cycle Assessment (LCA) point of view to analyze the environmental impacts from the entire life cycle of bio-diesel from used cooking oils.

The aim of this study is first to apply LCA with Numerical Eco-load Total Standard [NETS], which is used for evaluating the environmental burdens by identifying and quantifying energy and materials used and waste released to environment, and to identify and determine the opportunities for environmental improvement methods. The impacts due to the global and regional environmental issues are numerically evaluated in *NETS*, which is based on the balance of L & R (Loader and Receiver) theory. The second is to compare the LCIA results with Eco-indicator 99.

As the results, it is obviously shown that the process of bio-diesel has an environmental impact value more than diesel. Life cycle emissions from diesel are about 37.14 % and bio-diesel emission are about 62.86 %. In the transesterification process, the electricity are used therefore the environmental impacts are higher than diesel production.

2. METHODOLOGY OF LCA-NETS

NETS methodology has been first developed at the Energy System Design Lab., Mie University in Japan and continuous implemented and improved by many co-researches between Chiang Mai University and Mie University.

This technique is designed for a strongest merit that is not depend a specific area, country or value since it aims at the evaluation of industrial products distributed internationally. The basic idea of '*LCA-NETS*' is based on the balance between '*Loader*' that generates an impact and '*Receiver*' that suffers the impact. In this way of thinking, the maximum amount of environmental factor substance that the *Loader* can emit or consume is equal to the maximum of impact that *Receiver* can endure. The balance equation for environmental factor i in an impact category j is

$$MEV_i^j = P_i^j \times ELM_i^j \quad [NETS] \quad (1)$$

where the unit of [NETS] (Numerical Eco-load Total Standardization) expresses impact on environment. If *Receiver* is mankind, a maximum impact that people can endure is 100 NETS per capita. '100 NETS per capita' indicates the situation where people in the area affected by the impact cannot keep their past lifestyle unless they change their lifestyle.

For example, in the situation in an impact category of Fossil-fuels Depletion, people must seek an alternative fuel due to depletion of a fossil-fuel such as petroleum depletion. In the case of 'Air Pollution', people in the area have to see doctors due to disease caused by polluted air.

MEV_i^j (Maximum Eco-load Value) indicates the total impact that *Receiver* (people) can endure and is 100 NETS per capita multiplied by population of m_i^j in the area affected by the impact.

$$MEV_i^j = 100m_i^j \quad [NETS] \quad (2)$$

m_i^j is the world population in the case of an impact in global scale such as global warming and resources depletion.

On the other hand, P_i^j in right side of eq. (1) is the maximum value of an environmental factor that *Loader* can emit or consume. The unit of P_i^j depends on the environmental factor such as kg, kWh, etc. Therefore ELM_i^j (Environmental Load Module) [NETS/(kg, kWh, ...)] is a unit-conversion coefficient and expresses an impact per emission or consumption of environmental factor i in an impact category j .

In the *LCA-NETS*, ELM_i^j is derived from eq. (1) by setting P_i^j and MEV_i^j for each impact category, including Fossil-fuels Depletion, Natural-resources Depletion, Global Warming, Ozone-layer Depletion, Air and Water Pollution, Rain Acidification and Waste. P_i^j is set by objective data published by the United Nations, governments, academic societies and industrial organizations. The value for P_i^j is kept updated.

3. LCA OF BIO-DIESEL FROM USED COOKING OILS

3.1 GOAL DEFINITION

To analyze the environmental impacts of bio-diesel from used cooking oils by using *LCA-NETS* and Eco-indicator 99 method in SimaPro software.

3.2 SCOPE DEFINITION AND SYSTEM BOUNDARY

(a) Functional unit

The functional unit of this LCA study is set to "one liter of bio-diesel from used cooking oil, in which is produced by the bio-diesel production machine; CMU-2. The machine is shown in Fig. 1.

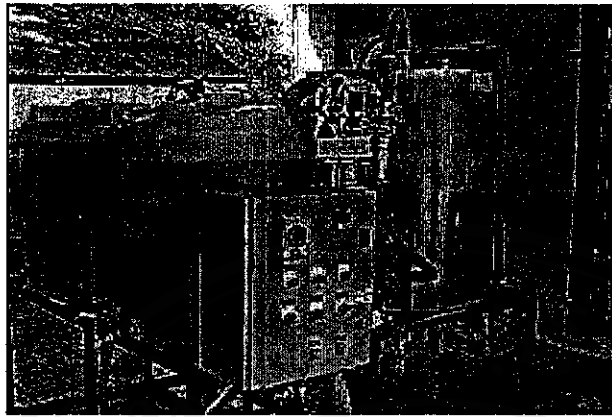


Fig.1 Bio-diesel production machine, CMU-2

(b) System boundary

There are production stage of bio-diesel's life cycle. The system boundary is drawn as broad as the data available. The primary life cycle inventory data is developed for material procurement stage and production stage. However, for the use stage, this LCA study is just the preliminary study, there is no experiment with the engines but in order to understand the result in the whole picture of LCA, we use the reference data and assumption from academic literature reviews. The system boundary can be shown in Fig. 2.

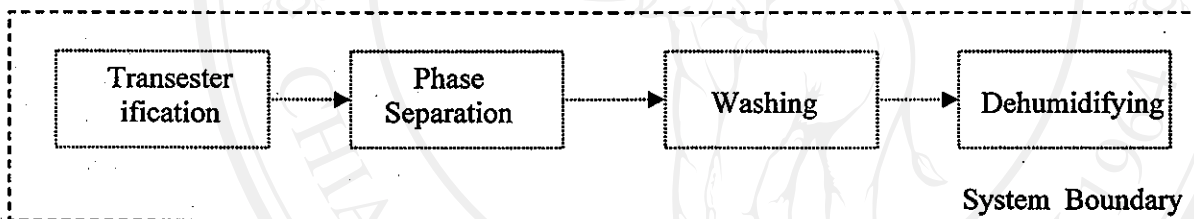


Fig.2 System boundary of bio-diesel from used cooking oils by CMU-2

In production stage, there are 4 important procedures.

1. **Transesterification** : The transesterification process is the reaction of a triglyceride with and alcohol (methanol) to form esters and glycerol.
2. **Phase separation** : Once the reaction is complete, two major products exist: glycerin and bio-diesel. We can use glycerin for animal food or agent substance to make soap.
3. **Bio-diesel washing** : After separate the glycerin from bio-diesel, it should be purified by washing gently with warm water to remove residual catalyst or soaps and dried.
4. **Bio-diesel dehumidifying** : It is important that water be kept out of the bio-diesel production process. Heating to break between the water and oil to settle to the bottom can remove water.

3.3 LIFE CYCLE INVENTORY ANALYSIS

There are many attempts to collect as much as detailed data and developed to be our own life cycle inventory data of bio-diesel. The materials and energy uses that have been consumed during production by CMU-02 are collected at the real site. At the use phase, we use the related references. According to our plan, we have to collect all of the detailed data from the actual, and measurements and compare with this preliminary stage of LCA. Table 1 below shows of materials that are used at the production stage.

Table 1 Examples of material use in the production of Bio-diesel, B100

Category	Quantity	Unit
Production of bio-diesel		
Used cooking oils from material procurement	150.00	liters
Methanol	30.00	liters
Potassium hydroxide	1.35	kg
Sulfuric acid	150.00	c.c.
Electricity	13.10	kWh
Water	90.00	liters

3.4 RESULTS OF LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT

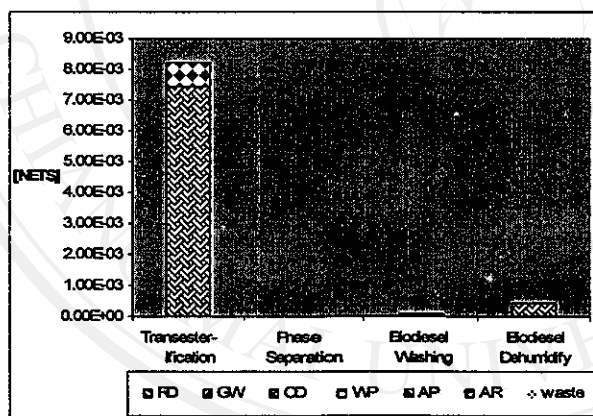
LCIA has been carried out to compare the environmental impacts of comparative fuels; diesel and bio-diesel.

3.4.1 LCA-NETS RESULTS

The following impact categories are considered: fossil fuel depletion (FD), resources depletion (RD), global warming (GW), ozone depletion (OD), air pollution (AP), rain acidification (RC), water pollution (WP) and waste processing.

Fig. 3 shows the environmental impact at the production stage of bio-diesel; the highest environmental impact is *transesterification*.

Environmental Impact by NETS at of Product Stage

**Fig.3** Environmental impact at production

In production 4 stage, transesterification process that contribute to higher environmental impacts than other stages because in the process to used electricity and chemicals to modify the properties of used cooking oils into bio-diesel. In washing process, input water for to remove glycerin, soap and methanol. And dehumidifying that water be kept out of the bio-diesel production process have to used electricity.

The total environmental impact can be calculated by LCA-NETS and expressed in

Fig. 4.

Total Environmental Impact Calculated by *NETS*

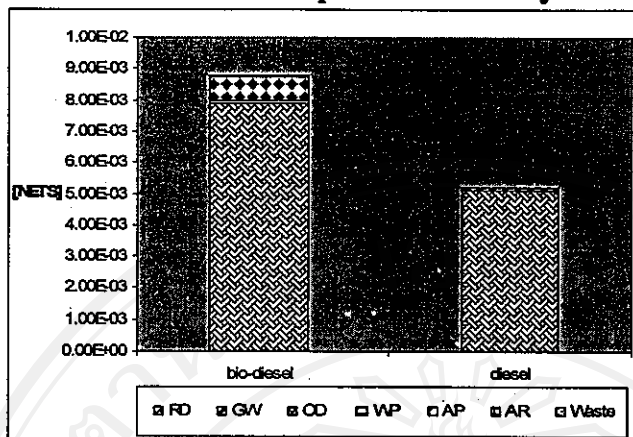


Fig. 4 Total LCIA of bio-diesel and diesel

In Fig. 4, according to the whole life cycle assessment point of views, diesel has lower environmental impact than bio-diesel.

3.4.2 IMPACT ASSESSMENT CALCULATED BY ECO-INDICATOR 99

In order to make sure our LCA results is going to the right way, the SimaPro, the most famous LCA software in the world has been selected to compare the results. We use Eco-indicator 99 for method environmental impact assessment. Although, SimaPro refers to European database but in this case, bio-diesel and diesel are the energy sources that influence not only locally but globally.

Total Environmental Impact Calculated by *Eco-indicator 99*

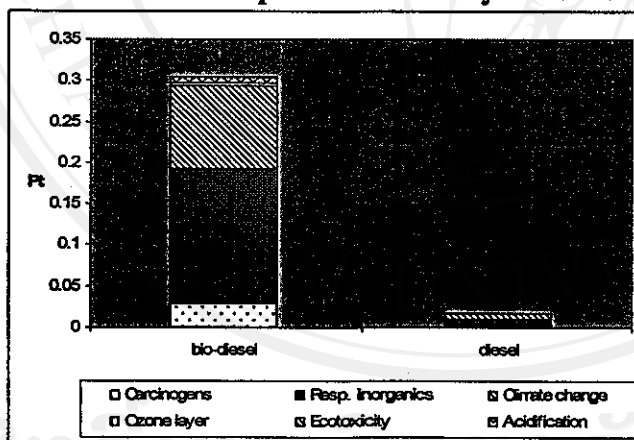


Fig.5 LCIA results of diesel and bio-diesel

In Fig. 5, the results shows very similar relative with LCA-*NETS* method. However, each methodology uses widely different weight of total potential impacts. It is, therefore, ranking would have been less consistent for other production methods need further development and that the results at the current stage of development should be used with great care.

According to the LCA perspectives and the comparison of three different fuel products, we can draw the following conclusions:

- Diesel contributes to environmental impact less than bio-diesel
- LCA results which are calculated by [NETS] show that bio-diesel destroy the ecology than more diesel because at the production stage of bio-diesel is needed energy than diesel.

4. CONCLUSIONS

The comparison of life cycle assessment between used cooking oils and diesel production found that the environmental impact of diesel is lower than bio-diesel production because in the process of transesterification, glycerine separating, washing and dehydration are depend on the electricity and chemicals to modify the properties of used cooking oils into bio-diesel. In glycerine separating and washing process created waste-water which is one of the environmental problem. Furthermore, for sustainable using of used cooking oils bio-diesel we have to develop the environment friendly production to reduce total energy consumption and environmental impact of used cooking oils biodiesel production.

5. ACKNOWLEDGEMENT

My thanks go to the most reference for LCA data and Energy Management and Conservation Center (EMAC), Chiang Mai University to give data.

6. REFERENCES

- [1] Angelo Riva, Simona D' Angelosante and Carla Trebeschi. *Natural gas and the environmental results of life cycle assessment*. Available at <http://elsevier.com/locate/energy>. Energy 31(2006).
- [2] A. Hansen, M. Flake, T.Dettmer, R. Bock. *Coolants based on native fat ester-comparative life cycle assessment*. Materials & Design 26 (2005) 517-577.
- [3] Edgar Furuholt. *Life Cycle assessment of gasoline and diesel*. Resources, Conservation and recycling 14 (1995) page 251-263.
- [4] Energy Management and Conservation Center. *Production of Bio-diesel from Vegetable and /or Animal Used Oils*. Chiang Mai University
- [5] Jon Van Gerpen. *Analysis of Biodiesel Production Technology*. (Report; NREL/SR-510-36244) National Renewable Energy Laboratory. (January 2004).
- [6] Michael J. Haas and et al. *A process model to estimate biodiesel production costs*. Bioresouce Technology 97 (2006) 671-678.
- [7] Sate Sampattagul. *Life Cycle Assessment of Commercial Refrigerated Cabinets*. Chiang Mai University., 2000.
- [8] Sheehan Jon and et al. *Life Cycle Inventory of Bio-diesel and Petroleum Diesel*. (Report; NREL/SR-580-24089). National Renewable Energy Laboratory.
- [9] Sheehan Jon and et al. *An Overview of Bio-diesel and Petroleum Diesel Life Cycles*. (Report; NREL/TP-580-24772). National Renewable Energy Laboratory. (May 1998).
- [10] Tom Beer and et al. *Life-cycle Emissions Analysis of Alternative Fuels for Heavy Vehicles*. CSIRO Atmospheric Research Report C/0411/1.1/F2 to the Australian Greenhouse Office. (March 2000)



การประเมินวัฏจักรชีวิตและการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of Biodiesel from Used Vegetable Oil

กิตติมา รุ่งสายเงิน

วิศวกรรมพลังงาน

และวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

mail: juntima_ann@yahoo.com

เบญญพรทิศา เกษมสันติธรรม

วิศวกรรมเครื่องกล

และวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เสฐียรภรณ์ อัมภักตะกุล

วิศวกรรมเครื่องกล

และวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

mail: sate@eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

จากสภาวะปัจจุบันประเทศไทยประสบกับปัญหาราคาน้ำมันแพงขึ้น ดังนั้นจึงมีการคิดค้นเชื้อเพลิงเหลวทดแทนขึ้นมา ไบโอดีเซลเป็นอีกทางเลือกที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเพราะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก การนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซลเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก เพราะเป็นการนำของเหลือทิ้งกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีก แต่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วต้องผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อให้ได้เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) ซึ่งต้องมีการใช้ทั้งทรัพยากรธรรมชาติ สารเคมี และพลังงานไฟฟ้า นอกจากนั้นระหว่างกระบวนการผลิตยังมีการปล่อยของเสียออกมา ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ผลกระทบทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นอย่างครบวงจร ภายใต้แนวความคิดของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต

จากผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วพบว่า น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสูงกว่าไบโอดีเซล โดยน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเกิดผลกระทบ 93.68% และไบโอดีเซล 6.32% และเมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าไบโอดีเซลมีต้นทุนเพียงลิตรละ 5.53 บาท ดังนั้นรัฐบาลควรผลักดันและส่งเสริมให้มีการผลิตไบโอดีเซลให้เพียงพอในระดับชุมชนเพื่อให้เกิดการพัฒนาให้แพร่หลายในระดับชุมชน เพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนของสังคมสืบต่อไป

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิต ไบโอดีเซล ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน

น้ำมันพืชใช้แล้ว ต้นทุน

Abstract

Oil price in the world market is tremendously increasing. Biodiesel is one of the selective fuels as it has very similar properties to petroleum based diesel. While used vegetable oil seems to be very interesting because useful of waste oil recovery. Biodiesel from used vegetable oil can be produced by using chemical process to form the methyl ester. However, in the production stage of biodiesel need input natural resources, chemicals and energy that contribute to the environmental impact. In order to clarify the useful of biodiesel, it is necessary to apply the life cycle assessment (LCA) point of view to analyze the impact from the entire life cycle of biodiesel from used vegetable oil.

As the results, it is obviously shown that the production of biodiesel has lower environmental impact than production of diesel



oil. Life cycle loads from diesel are about 6.68% and biodiesel about 6.32% and life cycle loading of biodiesel from used vegetable oil is out 5.53 baht/liter

Keywords: Life Cycle Assessment, Biodiesel, Transesterification, Used Vegetable Oil, Life Cycle Costing

บทนำ

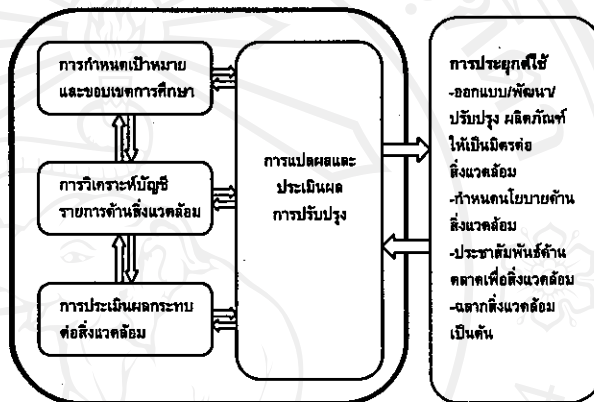
จากเหตุการณ์วิกฤตการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงขาดแคลนปี 2543 ส่งผลให้น้ำมันเชื้อเพลิงทุกชนิดปรับตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ทั้งภาครัฐบาลและเอกชนคิดค้นพลังงานเพื่อทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงขึ้น และกำลังมีปริมาณสำรองที่ลดลง ไปโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล เนื่องจากคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล [2] แต่การที่จะนำไบโอดีเซลมาใช้ออกทดแทนนั้นนอกจากจะคำนึงถึงคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลแล้ว ต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นถ้ามีการมาใช้งานจริง LCA เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้วิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ โดยจะพิจารณาตั้งแต่จัดหาวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การไปใช้ รวมถึงการกำจัดทิ้งหลังการใช้งาน โดยรกรการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ LCA ของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลขนาด 1 และอาศัยหลักการของ Numerical Eco-load Total Standard: [NETS] เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสามารถประเมินทั้งผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อทั้งโลกและเฉพาะชุมชน โดยตีค่าผลกระทบออกมาในหน่วย NETS เทียบผล LCA ของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วมาทดแทนไปเป็นแนวทางในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

LCA เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องเนื่องผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบ การได้วัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน รวมถึงการใช้

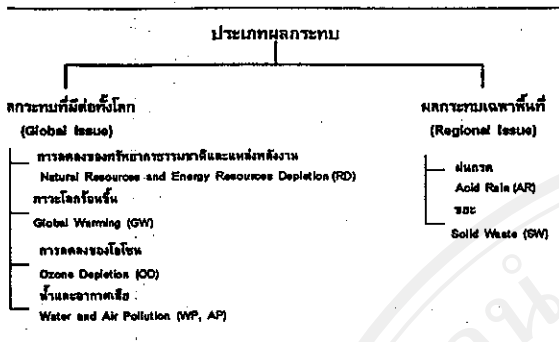
ซ้ำ การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่และการกำจัดทิ้งหลังหมดอายุการใช้งาน โดยศึกษาถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้รวมถึงของเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมทั้ง อากาศ น้ำและดินโดยพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่ครอบคลุมถึงระบบนิเวศ สุขอนามัย และปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมระดับโลก เพื่อหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด [2] ตามหลักมาตรฐาน ISO 14040 การทำ LCA ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 1 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 [2]

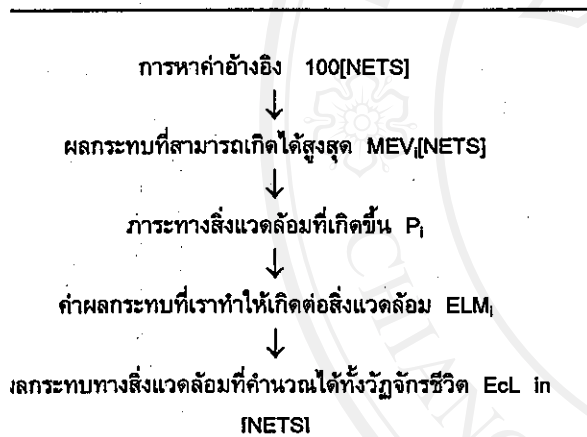
2.2 Numerical Eco-load Total Standards: NETS

NETS เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) ที่เกิดขึ้น โดยค่าที่คำนวณได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้รับ กับค่ามากที่สุดที่มนุษย์สามารถทนต่อผลกระทบนั้นๆ ได้ นั่นคือ NETS คือหน่วยที่ใช้ออกหรือตีค่าของภาระสิ่งแวดล้อมให้ออกมาเป็นตัวเลขได้ สามารถแยกเป็นผลกระทบที่มีต่อทั้งโลก และผลกระทบที่มีต่อชุมชน โดยผลกระทบแต่ละประเภทสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



ที่ 2 การแบ่งประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี NETS

ในการศึกษา NETS ดังแสดงในรูปที่ 3 [3]



ที่ 3 แผนผังแสดงแบบแผนในการทำมาตรฐานในการหาค่าภาระสิ่งแวดล้อม

จากรูปที่ 3 ค่าผลกระทบที่เราทำให้เกิดต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Load Module: ELM) สามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$ELM_i = \frac{MEV_i}{P_i} \left[\frac{NETS}{ton, kWh, m^3, \dots, etc.} \right] \quad (1)$$

สมการนี้จะแสดงถึงทรัพยากรที่เราใช้ หรือสารที่เราปล่อยออกมาใน 1 หน่วย [Ton, kWh, m³, ..., etc.] ในขั้นตอนสุดท้ายจะได้ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (EcL : Eco-Load Value) ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2)

$$EcL = \sum (ELM_i \times x_i) [NETS] \quad (2)$$

ซึ่ง x_i ก็คือจำนวนทรัพยากรที่เราใช้หรือสารที่เราปลดปล่อยออกมาแต่ละชนิดของกิจกรรมในอุตสาหกรรม มีหน่วยเป็น [ton, kWh, m³, ...etc.]

2.3 การวิเคราะห์ต้นทุน (Life Cycle Costing Analysis: LCCA)

ต้นทุน (Costs) หมายถึงทรัพยากรหรืองบประมาณ (Inputs) ซึ่งได้แก่ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (Expenses) ที่ใช้ในกระบวนการกิจกรรมต่างๆ (Process) เพื่อก่อให้เกิดผลผลิต (Outputs) เป็นมูลค่าที่วัดได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ถือเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกหรือตัดสินใจในการผลิตและดำเนินการใดๆ ในการวิเคราะห์ต้นทุนจะมีการเปลี่ยนค่าในอนาคต (Future Value) ไปเป็นมูลค่าในปัจจุบัน (Present Worth) โดยใช้สมการการวิเคราะห์ต้นทุน (Life Cycle Costing: LCC) ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (1) [4]

$$LCC = C_{pw} + M_{pw} + F_{pw} + R_{pw} - S_{pw} \quad (1)$$

เมื่อ C คือราคาค่าต้นทุน (บาท)
M คือค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (บาท)
F คือราคาเชื้อเพลิง (บาท)
R คือค่าใช้จ่ายสำหรับหาซื้อสินทรัพย์ใหม่เพื่อใช้ทดแทนอันเก่าซึ่งถูกทำลายหรือเสื่อมสภาพไป (บาท) [5]
S คือมูลค่าซาก (บาท)

pw คือมูลค่าปัจจุบัน (Present Worth)

ต้นทุนในที่นี้จะหมายถึงรวมต้นทุนวัสดุ การออกแบบ การติดตั้ง และอื่นๆ ไว้รวมด้วย ในการคิดต้นทุนจะแบ่งต้นทุนออกเป็น 2 ประเภทคือ ต้นทุนที่มักเกิดซ้ำในช่วงเวลาใด (Recurring Costs) และต้นทุนที่เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวตลอดโครงการ (Non-recurring Costs)

ซึ่งมูลค่าปัจจุบัน ใน Recurring Costs สามารถคิดได้ดังสมการที่ (3)

$$P = F \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (3)$$

เมื่อ F คือมูลค่าอนาคต (บาท)
i คืออัตราดอกเบี้ย (%)



n คือจำนวนปี (ปี)

และมูลค่าปัจจุบัน ใน Non-recurring Costs

สามารถคิดได้ดังสมการที่ (4)

$$P = A \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) \quad (4)$$

เมื่อ A คือราคาค่างวด (Annually Uniform Cost)

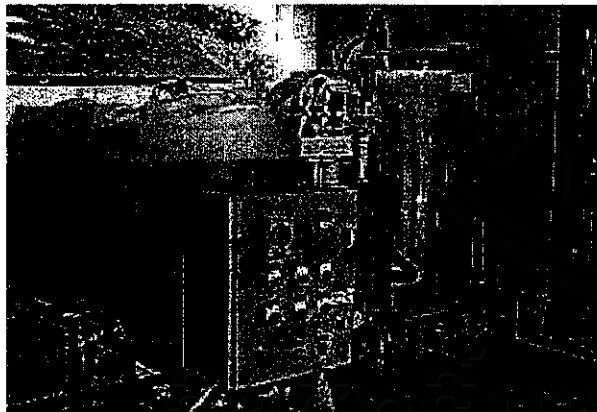
วิธีคำนวณงาน

ในการคำนวณงานได้ทำตามขั้นตอนของ LCA ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 การกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

3.3.1 วัตถุประสงค์การศึกษา

- ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจากเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



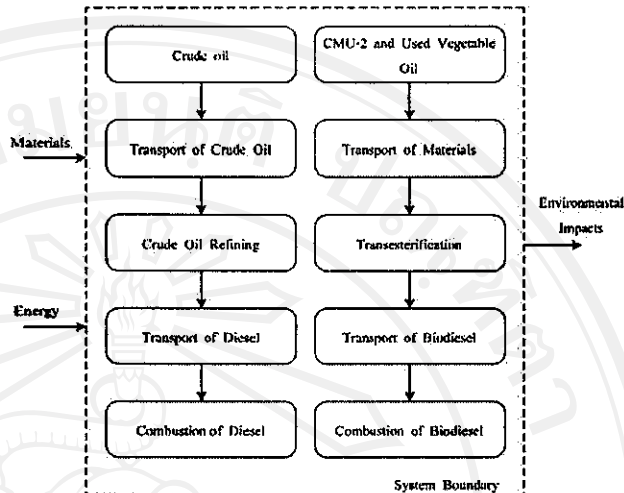
รูปที่ 4 เครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2

- วิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว จากเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2

3.3.2 ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตการศึกษาสามารถของดีเซลและไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเริ่มตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การ

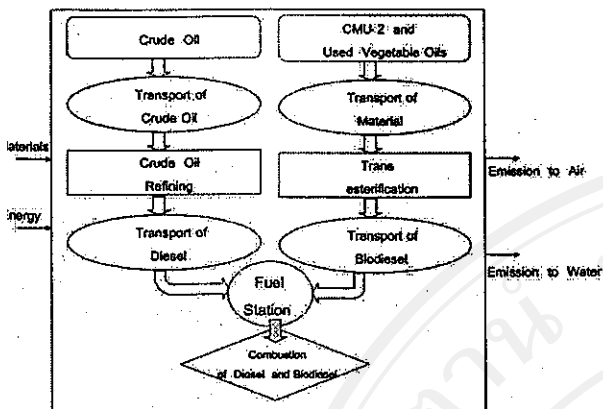
ขนส่ง การกลั่น และการนำไปใช้ สามารถแสดงขอบเขตการศึกษาได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงขอบเขตการศึกษาของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล [6], [7] และไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจากเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2 [8]

3.2 การจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

หลังจากที่ได้มีการกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา ขั้นตอนต่อไปของการทำ LCA คือการจัดทำบัญชีรายการ โดยจะมีการเก็บปริมาณวัตถุดิบที่เข้า สารเคมี พลังงาน และปริมาณมลภาวะที่ออกมา สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 ซึ่งมีตัวอย่างการจัดเก็บข้อมูลของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 6 การจัดทำบัญชีรายการของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจากเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2

ตารางที่ 1 ตารางบัญชีรายการของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

วัตถุดิบ	ประเภทวัตถุดิบ	น้ำหนัก (kg)	หน่วย
การจัดหาวัตถุดิบ			
1. ถังใส่น้ำและทำปฏิกิริยาเคมี	เหล็ก	28.35	kg
2. ถังแยกกลีเซอริน, ใ้่างน้ำและใ้่างวามชื้นครั้งสุดท้าย	พลาสติก	6.46	kg
การขนส่ง			
3. น้ำมันดีเซล	เชื้อเพลิง	7.29	liter
การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่น			
4. เมทานอล	สารเคมี	30	liter
5. กรดซัลฟูริก	สารเคมี	150	c.c.
5. โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์	สารเคมี	1.35	kg
การใช้งาน [6], [11], [12]			
7. ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide; NO _x)	ปัญหาอากาศเสีย	0.11	kg

8. คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide; CO ₂)	ปัญหาอากาศเสีย	4.22	kg
9. คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide; CO)	ปัญหาอากาศเสีย	0.06	kg

3.3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Analysis: LCIA)

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้วิธี NETS มาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

3.4 การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Interpretation)

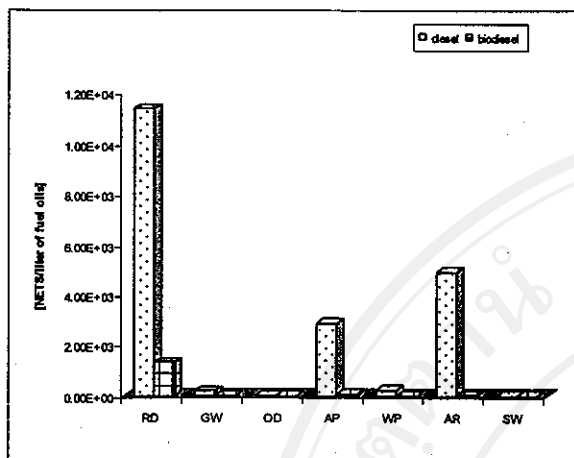
การแปลผลการศึกษาเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการศึกษา LCA ต้องดำเนินการแปลผลการศึกษา ในการแปลผลการศึกษาต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษาที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนแรกของการทำ LCA

4. ผลการทดลอง

จากการศึกษา LCA เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ในแต่ละขั้นตอนสามารถแสดงผลกระทบได้ดังนี้

4.1 การจัดหาวัตถุดิบ

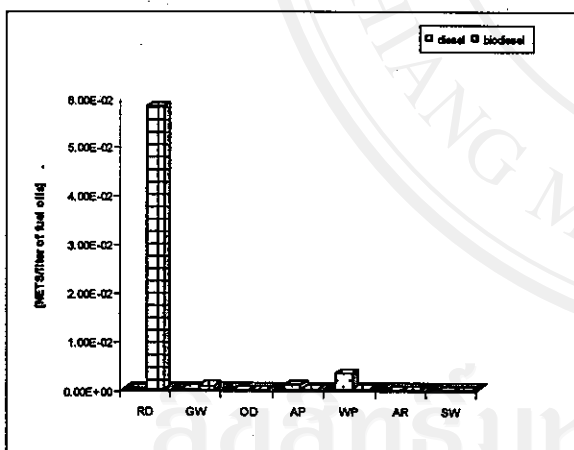
การที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ขึ้นมา ต้องมีการเตรียมหรือจัดหาวัตถุดิบเพื่อประกอบเป็นชิ้นงาน การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วก็เช่นกัน ต้องมีการจัดหาน้ำมันพืชใช้แล้วเพื่อมาผลิตเป็นไบโอดีเซล แต่การจะผลิตไบโอดีเซลได้ ต้องมีเครื่องผลิตไบโอดีเซล ซึ่งเครื่องผลิต CMU-2 มีทั้งถังพลาสติก ถังเหล็ก และท่อต่างๆ วัตถุดิบเหล่านี้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 7 และเช่นเดียวกัน น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลต้องมีการสำรวจ ขุดเจาะเพื่อหาน้ำมันดิบ ย่อมเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเช่นกัน



รูปที่ 7 เปรียบเทียบประเภทผลกระทบที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

4.2 การขนส่งวัตถุดิบ

หลังจากการจัดหาหรือเตรียมวัตถุดิบเรียบร้อยแล้ว จะขนส่งวัตถุดิบมายังแหล่งผลิต สามารถแสดงค่าผลกระทบดังรูปที่ 8

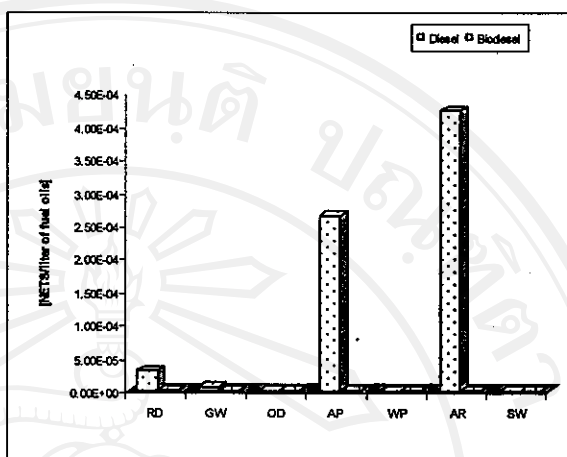


รูปที่ 8 เปรียบเทียบประเภทของผลกระทบที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

4.3 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิง

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลต้องมีการใช้พลังงานไฟฟ้า สารเคมี และในระหว่างกระบวนการยังมีการปล่อยของเสียออกมา เช่นเดียวกับการกลั่นน้ำมันดีเซลมีการใช้

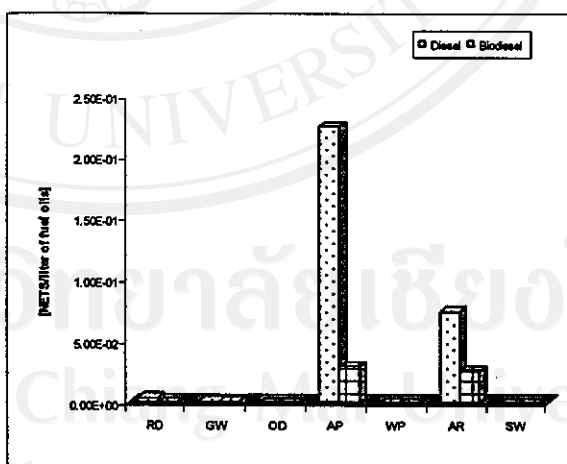
เชื้อเพลิง พลังงาน และอื่นๆ ซึ่งย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมา ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 เปรียบเทียบประเภทของผลกระทบที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการกลั่นเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

4.4 การขนส่งเชื้อเพลิง

จากกราฟรูปที่ 10 การขนส่งเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการขนส่ง โดยเกิดปัญหามลพิษ โดยมาจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 10

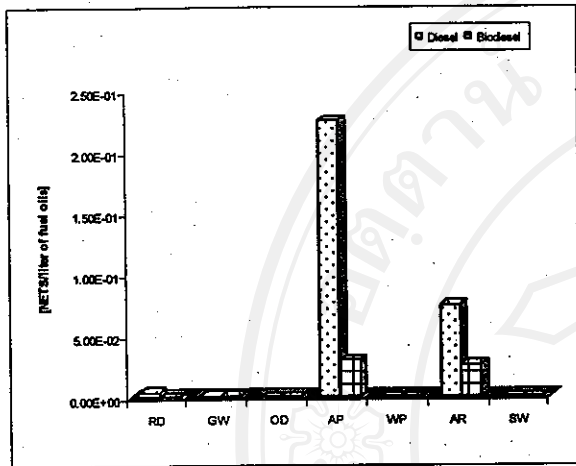


รูปที่ 10 เปรียบเทียบประเภทของผลกระทบที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการขนส่งเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล



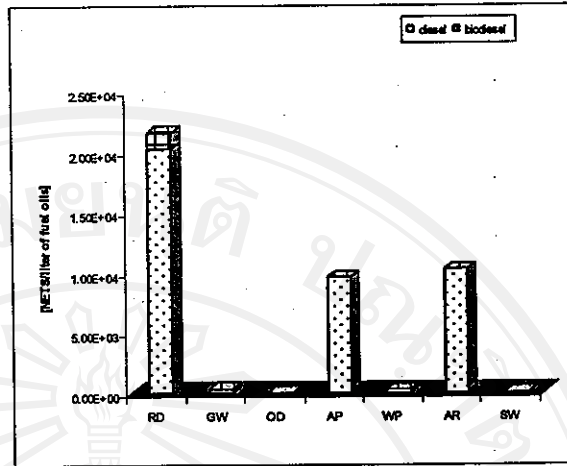
4.5 การใช้งานเชื้อเพลิง

ขั้นตอนการใช้งานผลกระทบที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงพบว่า ไบโอดีเซลสามารถลดปัญหาการเกิดมลภาวะทางอากาศลงได้ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 เปรียบเทียบประเภทของผลกระทบที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการใช้งานของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

จากการประเมินผลกระทบในแต่ละขั้นตอน พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลเกิดจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและเชื้อเพลิง เป็นหลัก ดังรูปที่ 12 เห็นได้ว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเกิดผลกระทบมากกว่าไบโอดีเซล ในขั้นตอนการกลั่นของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลให้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดเท่ากับ 2.88×10^4 [NETS / liter of diesel] ส่วนไบโอดีเซลผลกระทบที่เกิดสูงสุด มาจากการจัดหาวัตถุดิบคือเท่ากับ 3.41×10^3 [NETS / liter of biodiesel]



รูปที่ 12 แสดงผลการเปรียบเทียบ LCA ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2

จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วพบว่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าดีเซล อาจเป็นเพียงส่วนหนึ่งที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกผลิตภัณฑ์ และเมื่อมาคำนึงถึงความคุ้มค่าที่จะลงทุนพบว่าต้นทุนการผลิต ลิตรละ 5.54 บาท เมื่อกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องผลิตไบโอดีเซลไว้ที่ 10 ปี

5. สรุปผลการทดลอง

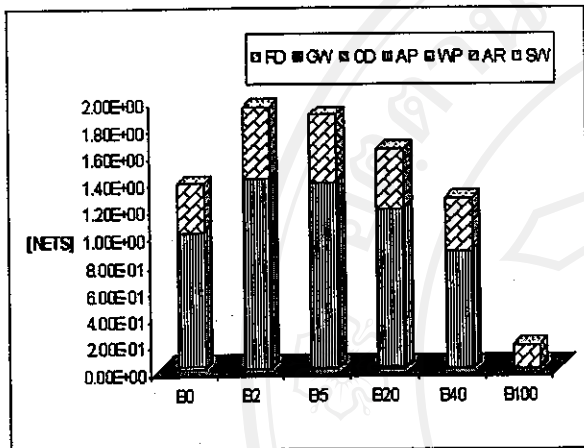
จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจากเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2 พบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากกว่าไบโอดีเซล ซึ่งประเภทผลกระทบที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานงานเนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการใช้ทรัพยากรชนิดต่างๆ และเชื้อเพลิง มาเป็นส่วนประกอบในกระบวนการ ดังนั้นถ้าต้องการผล LCA ให้น้อยลง ควรต้องมีการลดการใช้ทรัพยากร เพราะผลจากการใช้ทรัพยากรยังก่อให้เกิดปัญหาทางมลภาวะทางอากาศ ดังนั้นถ้ามีการจัดการที่ดีผลของ LCA ย่อมลดลง

การนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้งานจริง พบว่าสูตรผสมที่เริ่มขายในท้องตลาด เช่น B2¹, B5, B20 และ B40 พบว่า B40

¹ สูตรผสมระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล โดยตัวเลขแสดงถึงร้อยละที่มีไบโอดีเซลผสมอยู่



สามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้ เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 13 ดังนั้นถ้าจะมีการผลักดันการใช้ไบโอดีเซลสูตรผสม นอกจากจะคำนึงถึงต้นทุนแล้ว ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาถึง



รูปที่ 13 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล [9], [10], [11]

6. ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของการนำไบโอดีเซลมาใช้งานให้นำไบโอดีเซลมาผสมน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลในอัตราส่วน B5 คือไบโอดีเซล 5% และดีเซล 95% พบว่าจะมีราคาเพียง 22.07 บาท ขณะที่ราคาไบโอดีเซลที่ขายตามท้องตลาดสูตร B5 ราคา 22.94 บาท [12]

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ฐานการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลของ ETH-ESU 96 ซึ่งผลของ LCA อาจมีข้อผิดพลาด แต่อาจจะเป็นแนวทางการศึกษา LCA ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย และสถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ข้อมูลด้านการผลิตเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2

8. อ้างอิง

- [1] พิสมัย เจนวนิชย์กุล. ไบโอดีเซล : พลังงานทางเลือก. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. ราคาขายปลีกน้ำมันเชื้อเพลิง ในกรุงเทพฯ เปรียบเทียบราคาที่ควรจะเป็นและจำนวนเงินชดเชย 10 ม.ค. 47 – 13 ก.ค. 48. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th> (8 เมษายน 2549).
- [2] สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุ และสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2549). การประเมินวัฏจักรชีวิตและการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ. พิมพ์ครั้งที่ 1.
- [3] เศรษฐ์ สัมภักตะกุล 2544. การประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็น พาณิษฐ์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- [4] Nataneer Vorayos (2005). *Performance Analysis of Continuous Solar Ethanol Distillation System Including Environmental Impact*. Doctor Thesis Report, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- [5] วิทยากร เชียงกุล (2546). อนุรักษ์ทรัพย์ เศรษฐกิจ ธุรกิจการเงิน และการธนาคาร. สำนักพิมพ์สายธาร. พิมพ์ครั้งที่ 4.
- [6] L. De Nocker, C. Spirinckx and R. Torfs. (1998). *Comparison of LCA and External-cost analysis for biodiesel and diesel*. Paper Presented at the "2nd International Conference LCA in Agriculture, Agro-industry and Forestry". Brussels, 3-4 December 1998.
- [7] Sheehan Jon and et al. *Life Cycle Inventory of Bio-diesel and Petroleum Diesel*. (Report; NREL/SR-580-24089). National Renewable Energy Laboratory.
- [8] สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เอกสารประกอบการอบรม การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสัตว์/น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว. (ไม่ปรากฏปีพิมพ์)
- [9] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2550). การประเมินต้นทุนสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงาน. (26 มกราคม 2550).
- [10] The official Site of the National Biodiesel Board [Online] <http://www.biodiesel.org> (January 15, 2006)
- [11] United States Environmental Protection Agency. *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*.
- [12] บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) วันที่ 5 มกราคม 2550. [ระบบออนไลน์]. <http://www.pttplc.com/th/default.asp>.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	น.ส. จันทิมา รี้วลาขเงิน
วัน เดือน ปี เกิด	9 กันยายน 2526
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนรัชชประชาภิรมิต จ.นครราชสีมา ปีการศึกษา 2543 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัย ทักษิณ จ. สงขลา ปีการศึกษา 2547
ทุนการศึกษา	ได้รับเงินสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมอนุรักษ์พลังงานฯ โครงการ ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษา ระดับอุดมศึกษา ปี พ.ศ. 2549

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved