บทที่ 4
ผลการศึกษาวิจัย

หลังจากได้กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของขั้นตอนการศึกษาวิจัย ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 จากนั้นได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าวจบครบทุกกระบวนการ ซึ่งผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต (ดังแสดงรายละเอียดของภาคผนวก ก) และต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต ของการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ (ดังแสดงรายละเอียดของภาคผนวก ข) เป็นดังนี้

4.1 ผลการจัดทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis)

ดังที่กล่าวในบทก่อนหน้าแล้วว่าในการศึกษาวิจัยนี้จะแบ่งวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลสบู่ดำออกเป็น 3 ช่วงกระบวนการได้แก่ กระบวนการทางการเกษตร การผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ และการใช้ไบโอดีเซลสบู่ดำ ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการนั้นประกอบด้วยข้อมูลชนิดและปริมาณของปัจจัยที่นำเข้ากระบวนการ (Input) และผลลัพธ์ที่ออกจากกระบวนการ (Output) จากนั้นจึงนำผลหรือข้อมูลที่ได้ ไปทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นโดยการคำนวณ และใช้โปรแกรม SimaPro และวิเคราะห์ LCC ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดเป็นดังนี้

4.1.1 ผลการจัดทำบัญชีรายการในกระบวนการทางการเกษตร

ผลจากการจัดทำบัญชีรายการนั้นพบว่าในกระบวนการทางการเกษตรนั้นเป็นกระบวนการที่ใช้วัสดุและเครื่องมือที่หลากหลาย เนื่องจากมีกระบวนการปลีกย่อยอีกมาก สามารถสรุปได้ตามกระบวนการหลักดังรูปที่ 4.1 ดังนี้

ขั้นตอนการเตรียมกล้าพันธุ์และการเตรียมดิน

เครื่องจักร/เครื่องมือ	เครื่องสูบน้ำ ช้อนปลูก จอบ รถไถ
วัสดุที่ใช้	เมล็ดสบู่ดำ ถุงเพาะชำ ดิน ทราย ปุ๋ยคอก น้ำ
พลังงานที่ใช้	พลังงานไฟฟ้า น้ำมันดีเซล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มลพิษ/ของเสียที่เกิด มลพิษจากการผลิตไฟฟ้า มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของรถไถ สามารถหาได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าจากตาราง 4.1 อัตราการใช้เชื้อเพลิงดีเซลของรถไถเป็น 4.64 ลิตรต่อไร่ (Natanee, 2005)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้ ต้นกล้าสบู่ดำ

- **การเตรียมกล้าพันธุ์** เป็นขั้นตอนการได้มาของต้นกล้าสบู่ดำ ซึ่งการเตรียมต้นกล้าสบู่ดำที่นิยมกันสามารถทำได้สองวิธีคือ เตรียมจากการเพาะเมล็ดและปักชำกิ่งเป็นเวลา 45 ถึง 60 วัน โดยมีการให้น้ำทุกวัน แต่ต้นกล้าที่ได้จากการปักชำนั้น แม้จะโตเร็วแต่ก็ไม่นิยมนำมาปลูกเนื่องจากระบบรากไม่แข็งแรง
- **การเตรียมดิน** เป็นการปรับสภาพของผิวดินให้เหมาะสมในการปลูกต้นสบู่ดำ โดยมีการไถดะ ไถแปร และยกร่องแปลงปลูกระหว่างแถวให้ห่างกัน 2 เมตร จากนั้นจะทำการปลูก โดยขุดหลุมปลูกกว้างประมาณ 30 x 30 เซนติเมตร ระยะระหว่างหลุมเป็น 1 เมตร โดยพื้นที่ 1 ไร่ ปลูกสบู่ดำ 800 ต้น ผลผลิต 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

ตาราง 4.1 ค่ามลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้รถไถ

Emission Category	Emission Factor
Carbon dioxide (kg/liter diesel)	2.70
Carbon monoxide (g/liter diesel)	18.57
Methane (g/liter diesel)	0.36
Nitrogen oxide (g/liter diesel)	36.78
Nitus Oxide (g/liter diesel)	0.07
Non-Methane volatile organic compound (NMVOC) (g/liter diesel)	6.56

ที่มา: Natanee, 2005

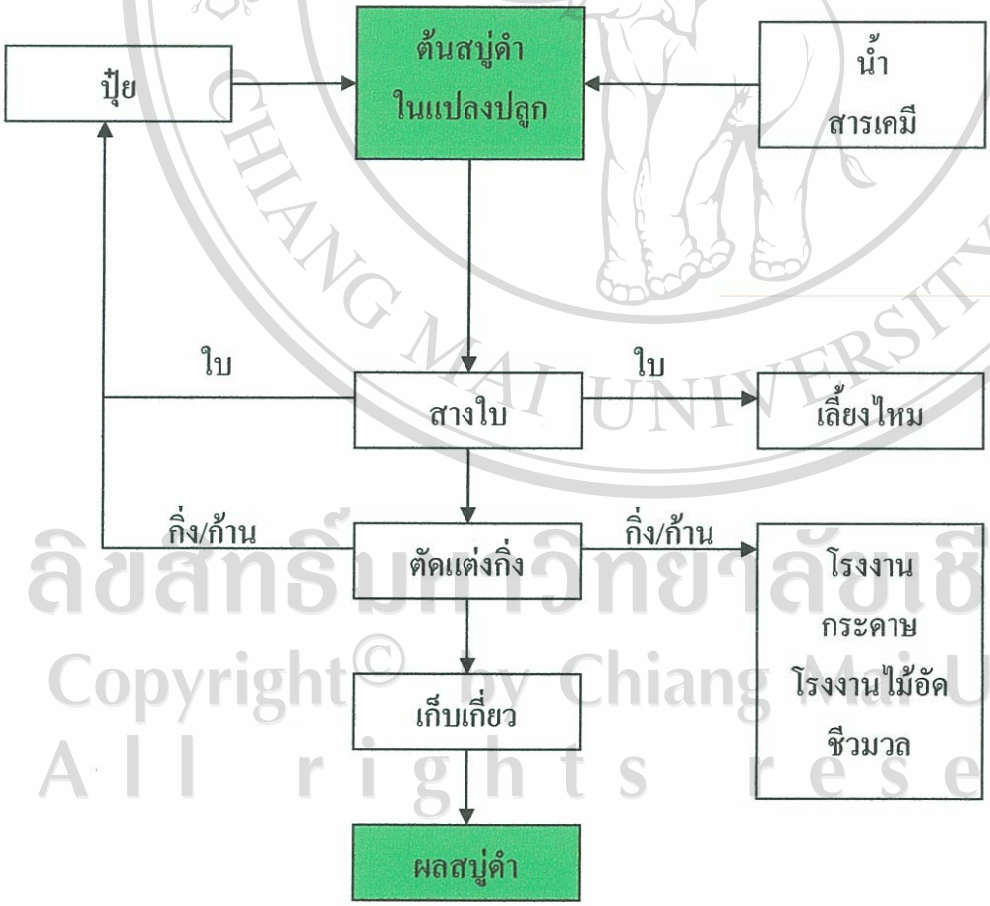
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการเพาะปลูกสบู่ดำ

เมื่อได้ต้นกล้าที่พร้อมสำหรับนำไปปลูก และมีการเตรียมดินหรือปรับสภาพดินแล้ว ก็นำต้นกล้าสบู่ดำที่ได้ลงดิน ซึ่งในการเพาะปลูกนี้ ต้องอาศัยการดูแลอย่างดี เพื่อให้ได้ผลสบู่ดำใน

ปริมาณมากก่อนที่จะนำมาหีบสกัดน้ำมันและผลิตไบโอดีเซล รายละเอียดกระบวนการเพาะปลูกเป็นดังนี้

เครื่องจักร/เครื่องมือ	เครื่องสูบน้ำ เครื่องพ่นยา กรรไกรตัดกิ่ง จอบ เสียม
วัสดุ	ต้นกล้าสบู่ดำ ภาชนะบรรจุผลสบู่ดำ
สารเคมี	น้ำ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก สารกำจัดวัชพืช สารกำจัดแมลง
พลังงานที่ใช้	พลังงานไฟฟ้า น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องพ่นยา
มลพิษ/ของเสียที่เกิด	มลพิษจากการผลิตไฟฟ้า มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล มลพิษจากการตกค้างของสารเคมีในดิน ในน้ำ และในอากาศ ถุงเพาะชำ (ขยะ)
ผลิตภัณฑ์ที่ได้	ผลสบู่ดำ กิ่ง ก้าน ใบ



รูป 4.1 ขั้นตอนทางการเกษตรของการเพาะปลูกสบู่ดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการเพาะปลูกต้นสบู่ดำ โดยรายละเอียดปลีกย่อยในแต่ละกระบวนการดังต่อไปนี้

- **การให้น้ำ** มีการให้น้ำพร้อมปลูก และในช่วงแรกในอัตรา 20 ลิตรต่อต้นของการปลูกทุกๆ 10-15 วัน ฤดูแล้งให้น้ำทุก 15 วัน ฤดูฝนอาจจะไม่ต้องให้น้ำเลยถ้าฝนตกสม่ำเสมอ
- **การใส่ปุ๋ย** รองก้นหลุมด้วยปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 3-5 กิโลกรัมต่อต้นเมื่อสบู่ดำอายุ 1 เดือนและทำการกำจัดวัชพืชแล้วจะใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และให้ปุ๋ยอีกครั้งหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรก โดยให้รอบโคนต้น
- **การกำจัดวัชพืช** กำจัดวัชพืชหลังปลูกประมาณ 1 เดือน โดยใช้แรงงานคนถากรอบโคนต้นและใช้สารกำจัดวัชพืชฉีดบริเวณร่องน้ำ โดยความถี่ในการกำจัดวัชพืชนั้นขึ้นกับฤดูกาล และความชื้นในดินการควบคุมวัชพืช อาจใช้เศษวัสดุเช่น แกลบ หรือฟางข้าว มาคลุมโคนต้น เป็นการรักษาความชื้นในดิน และย่อยสลายเป็นอินทรียวัตถุให้ดินต่อไป
- **การกำจัดแมลง** ในแปลงปลูกสบู่ดำนั้นพบการเข้าทำลายของแมลงบางชนิด เช่น เพลี้ยแป้ง ไรแดง และหนอนชอนใบ แต่ไม่สร้างความเสียหายมากนัก การควบคุมนั้นสามารถทำได้โดยใช้สารกำจัดแมลงในอัตราส่วนดังตาราง 4.2 แต่ถ้าการระบาดของโรคสร้างความเสียหายแก่การปลูกไม่มากนัก สามารถจัดการได้ในเบื้องต้น ก็ไม่จำเป็นต้องใช้สารฆ่าแมลงเหล่านี้

ตาราง 4.2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดวัชพืชและกำจัดแมลงที่ในแปลงปลูกสบู่ดำ

สารกำจัดวัชพืช	**ชื่อทางการค้า**	**ปริมาณที่ใช้**
ไกลโฟเสท (Glyphosate isopropyl - ammonium)	ราวด์อัพ (Roundup) ความเข้มข้น 48% W/V AS	100-150 ml ต่อน้ำ 20 ลิตร
พาราควอท (Paraquat dichloride)	กรัมม็อกโซน (Gramoxone) ความเข้มข้น 27.6% W/V SL	80-120 ml ต่อน้ำ 20 l
สารกำจัดแมลง	**สารเคมี**	**ปริมาณที่ใช้**
เพลี้ยแป้ง /เพลี้ยไฟ	คาร์บาริล อัลตรา	50 g ต่อน้ำ 20 l
หนอนชอนใบ	ฟิโนนิล อัลตรา	10 g ต่อต้น
หนอนชอนใบ	อะบาเมกติน อัลตรา	30 ml ต่อน้ำ 20 l
ไรแดง	เควเทน อัตรา	50 ml ต่อน้ำ 20 l
ไรขาว	ไดโคโฟ อัลตรา	50 g ต่อน้ำ 20 l

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- **การสางใบและการตัดแต่งกิ่ง** เมื่อเข้าฤดูแล้งต้องมีการตัดแต่งกิ่งและสางใบสบู่ดำปีละ 1 ครั้งเพื่อลดการคายน้ำ และไม่ให้ต้นสูงเกินการเก็บเกี่ยวหลังจากตัดแต่งกิ่งแล้วเป็นเวลาสามเดือนต้นสบู่ดำจะเริ่มออกดอกและติดผลตามลำดับ
- **การเก็บผลผลิต** เป็นการเก็บผลสบู่ดำที่แก่แล้ว โดยใช้แรงงานคนเพื่อนำผลสบู่ดำที่ได้มาหีบน้ำมันและผลิตเป็นไบโอดีเซลต่อไป

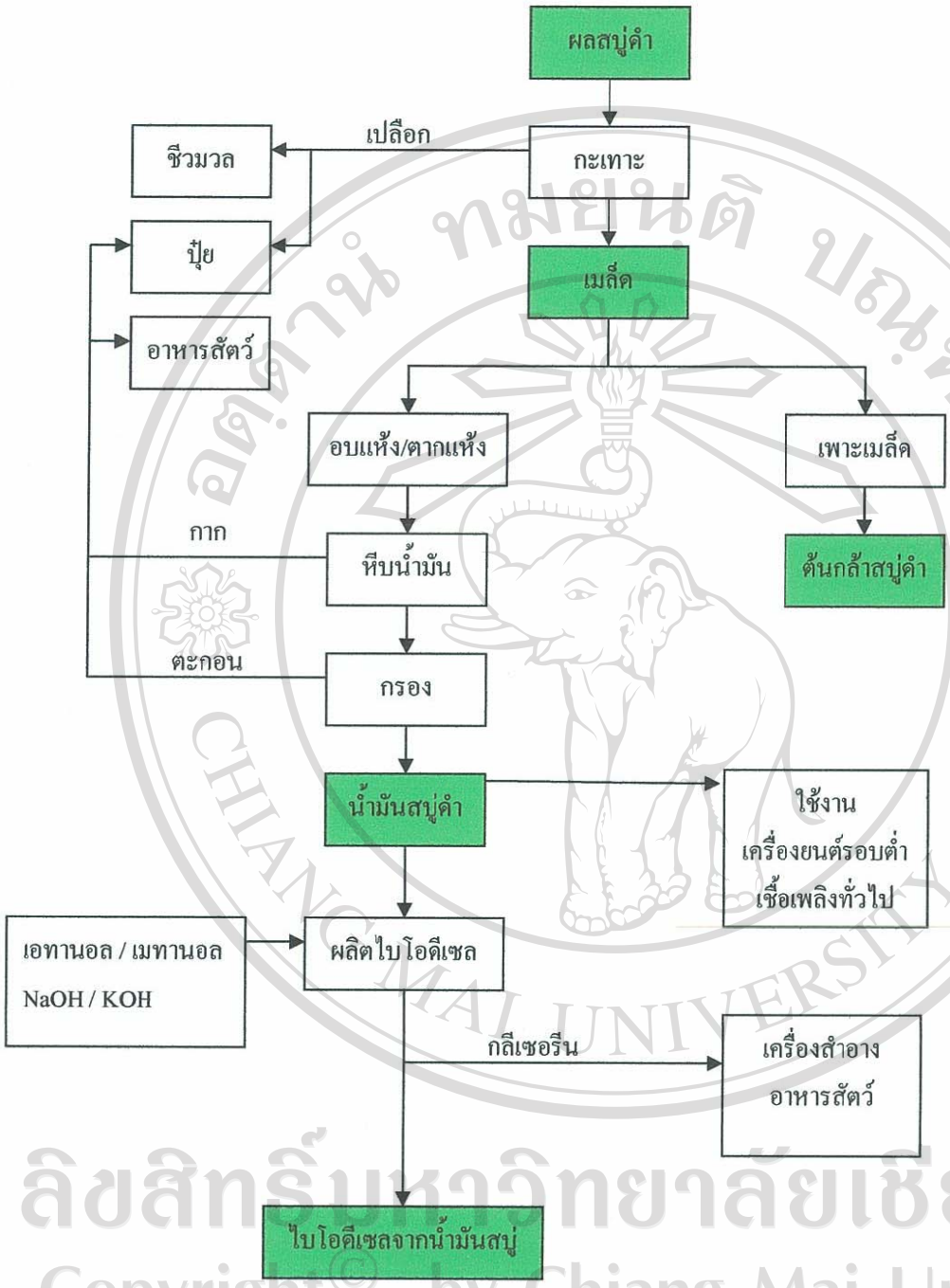
4.1.2 ผลการจัดทำบัญชีรายการในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ

ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลประกอบด้วยสองขั้นตอนหลัก ได้แก่การหีบน้ำมันสบู่ดำและการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ จำเป็นต้องใช้ปัจจัยในการผลิตต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

การผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ	
เครื่องจักร/เครื่องมือ	เครื่องกะเทาะเปลือก เครื่องอบแห้ง เครื่องหีบน้ำมัน เครื่องกรอง เครื่องผลิตไบโอดีเซล เครื่องมือในการส่งเสริมการผลิต ได้แก่ ปั๊ม วาล์ว Heater
วัสดุ	ผลสบู่ดำ
สารเคมี	เมทานอล น้ำ โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์
พลังงานที่ใช้	พลังงานไฟฟ้า
มลพิษ/ของเสียที่เกิด	มลพิษจากการผลิตไฟฟ้า น้ำเสีย
ผลิตภัณฑ์ที่ได้	เปลือกสบู่ดำ กากสบู่ดำ ตะกอนสบู่ดำ กลีเซอรีน ไบโอดีเซลสบู่ดำ

- **การหีบน้ำมันสบู่ดำ** ผลสรุปจากการพิจารณาพบว่า เครื่องจักรที่มีความเหมาะสมในการหีบน้ำมันสบู่ดำนั้น เป็นเครื่องจักรที่พัฒนาโดยสมาคมเครื่องจักรกลไทย ร่วมกับบริษัทไทยแมชชีนเนอรี่แอนด์เอ็นเนอยี่จำกัด โดยได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานรัฐบาล โดยเครื่องจักรที่เลือกนี้มีอัตราส่วนราคาต่อกำลังการผลิตน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับเครื่องจักรของหน่วยงานอื่น การไหลของวัสดุตลอดกระบวนการสอดคล้องกัน ไม่เกิดการรองาน และได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.2 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำต้องอาศัยเครื่องจักรหลายประเภท ทั้งเพื่อการได้มาซึ่งน้ำมันสบู่ดำ และการผลิตไบโอดีเซล จึงต้องเลือกเครื่องมือที่เหมาะสมมาใช้ในกระบวนการ ดังนี้

- **การผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ** เครื่องผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยนั้นได้มีการพัฒนาจากหลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน แต่วัตถุดิบที่นำมาผลิตไบโอดีเซลและมีการจำหน่ายแล้วนั้นส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว และเครื่องผลิตไบโอดีเซลส่วนใหญ่ สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สบู่ดำเป็นวัตถุดิบได้ เนื่องจากอาศัยหลักการในการผลิตที่เหมือนกัน ต่างกันเพียงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ ความต้องการปริมาณสารเคมีที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบหรือน้ำมันแต่ละชนิดที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลนั่นเอง

ในการวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องผลิตไบโอดีเซลกำลังการผลิต 100 ลิตรต่อวัน (ชาญชัย, 2549) รายละเอียดและขั้นตอนการผลิตแสดงในภาคผนวก ค เนื่องจากกำลังการผลิตสอดคล้องกับปริมาณน้ำมันจากการหีบเมล็ด

4.1.3 ผลการจัดทำบัญชีรายการในขั้นตอนการใช้ไบโอดีเซลสบู่ดำ

ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบการใช้งานไบโอดีเซลสบู่ดำกับเครื่องยนต์นั้นต้องทำการวัดค่าผลกระทบ ซึ่งในที่นี้คือมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้ไบโอดีเซลสบู่ดำ โดยคำนวณจากสมการ 3.1 ถึง 3.3 และเมื่อคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของเมทิลเอสเทอร์สบู่ดำหรือไบโอดีเซลสบู่ดำดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดีเซลและไบโอดีเซลสบู่ดำ

คุณสมบัติ	หน่วย	ดีเซล	ไบโอดีเซลสบู่ดำ
Density at 15° C	g/cm3	0.8865	0.8787
Viscocity at 40° C	mm2/s	3.1	4.31
CFFP	C	-19	-3
Flash point	C	82	182
Sulfur content	mg/kg	9	2.5
Carbon residue (10% dist. Resid.)	%mass	0.04	0.15
Cetane Number	-	57	59.9
Sulfate ash	%		0.001
Water content	mg/kg	60	730
Acid value	mgKOH/g	0.04	0.27
Iodine value	g Iodine/100g	-	96
Monoglyceride cont.	% (m/m)	-	0.183

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 (ต่อ)

คุณสมบัติ	หน่วย	ดีเซล	ไบโอดีเซลสบู่ดำ
Triglyceride cont.	% (m/m)	-	<0.1
Diglyceride cont,	% (m/m)	-	<0.1
Free glycerol	% (m/m)	-	<0.01
Group I metals (Na + K)	mg/kg	-	<5
Group II metals (Ca + Mg)	mg/kg	-	<5
Phosphorus content	mg/kg	-	0.05
Calorific value	MJ/kg	43.07	37.14

ที่มา : FJ-BLT Wieselburg, 2006

4.2 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ

เมื่อได้ข้อมูลจากการจัดทำบัญชีรายการแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาทำการประเมิน ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยเทคนิค LCA โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.0 ด้วยวิธี EDIP/UMIP 97 โดยมีการแบ่งประเภทผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกเป็น 15 ประเภท ได้แก่

(1) Global Warming (GW): ภาวะโลกร้อนขึ้น

(2) Ozone Depletion (OD): การทำลายชั้นบรรยากาศของโลก

(3) Acidification (Ac): การเกิดฝนกรด

(4) Eutrophication (Eu): การเจริญเติบโตที่มากเกินไปของพืชน้ำ

(5) Photochemical Smog (PS): การเกิดหมอกสารเคมี

(6) Ecotoxicity to Water Chronic (EWC): การสะสมสารพิษต่อระบบนิเวศของน้ำ

(7) Ecotoxicity to Water Acute (EWA): การเกิดพิษเฉียบพลันต่อระบบนิเวศของน้ำ

(8) Ecotoxicity to Soil Chronic (ESC): การสะสมสารพิษต่อระบบนิเวศของดิน

(9) Human Toxicity to Air (HTA): การเกิดพิษในอากาศที่ส่งผลต่อมนุษย์

(10) Human Toxicity to Water (HTW): การเกิดพิษในน้ำที่ส่งผลต่อมนุษย์

(11) Human Toxicity to Soil: HTS การเกิดพิษในดินที่ส่งผลต่อมนุษย์

(12) Bulk Waste (BW): การเกิดขยะในปริมาณมาก

(13) Hazardous Waste (HW): การเกิดขยะอันตราย

(14) Radioactive Waste (RW): การเกิดขยะกัมมันตรังสี

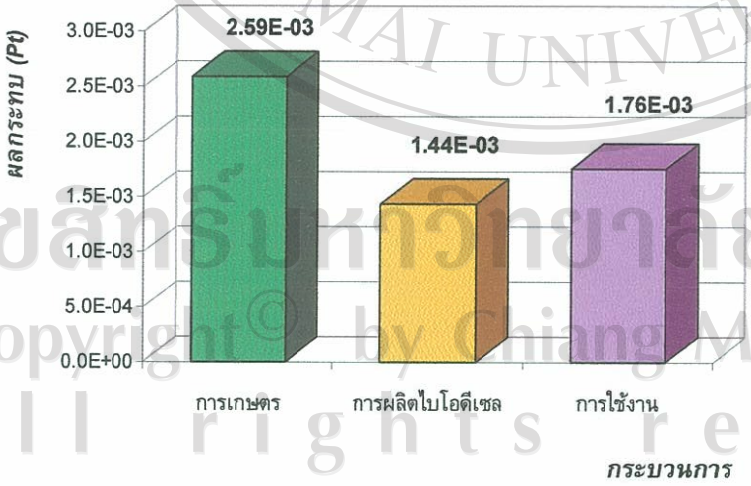
(15) Slag/Ashes (S/A): การเกิดกากหรือตะกอนโลหะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าผลกระทบที่ได้จะรวมทั้งผลกระทบทางตรงและผลกระทบทางอ้อม โดยผลกระทบทางตรงที่เกิดขึ้นนั้นมาจากข้อมูลที่ทำการตรวจวัด หรือคำนวณค่าจากกระบวนการจริง ได้แก่ กระบวนการทางการเกษตร การผลิตไบโอดีเซล และการใช้ไบโอดีเซลสบู่ดำ เช่น ในการใช้น้ำมันดีเซลนั้นผลกระทบทางตรงที่เกิดขึ้นคือมลพิษหรือไอเสียจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ในขณะที่ผลกระทบทางอ้อมนั้นจะอาศัยฐานข้อมูลของโปรแกรม ซึ่งกรณีการใช้น้ำมันดีเซลก็คือผลกระทบที่เกิดจากการผลิตน้ำมันดีเซล เป็นต้น โดยค่าผลกระทบที่ได้จะมีหน่วยแสดงเป็น Pt (Point) ต่อ 1 หน่วยการทำงาน ซึ่งในที่นี้คือ Pt ต่อไบโอดีเซลสบู่ดำ 1 ลิตร และมีการเปรียบเทียบความรุนแรงของผลกระทบทั้ง 15 ประเภทดังที่กล่าวมาแล้ว โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลสบู่ดำเป็นดังนี้

ตาราง 4.4 ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลจากสบู่ดำ

กระบวนการ	หน่วย	ค่าผลกระทบ	% ผลกระทบ
กระบวนการทางการเกษตร	Pt	2.59E-3	44.66
การผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ	Pt	1.44E-3	24.83
การใช้งาน	Pt	1.76E-3	30.34
รวม	Pt	5.80E-3	100.00

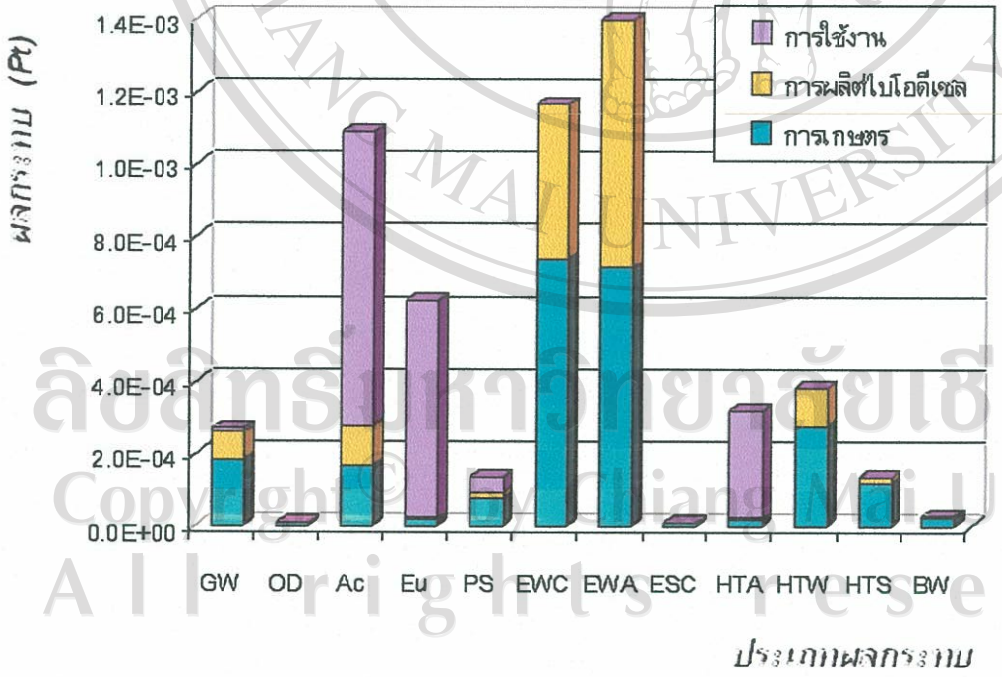


รูป 4.3 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการทางการเกษตร การผลิตไบโอดีเซล และการใช้งานไบโอดีเซลสบู่ดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.4 และรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า กระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในการประเมินวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลสบู่ดำ คือกระบวนการการเกษตร โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็น 2.59E-3 Pt หรือคิดเป็น 44.66% ของผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในขณะที่การใช้งานและการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรองลงมาโดยมีค่าเป็น 1.76E-3 Pt และ 1.44E-3 Pt ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงประเภทผลกระทบที่เกิดขึ้นตามกระบวนการ ดังรูปที่ 4.4 พบว่าในขั้นตอนการใช้งานก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทการเกิดฝนกรด การเจริญเติบโตที่มากเกินไปของพืชน้ำ และการเกิดพิษในอากาศที่ส่งผลต่อมนุษย์มากที่สุด ในขณะที่ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลนั้นก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมประเภทการสะสมสารพิษต่อระบบนิเวศของน้ำ และการเกิดพิษเฉียบพลันต่อระบบนิเวศของน้ำมากที่สุด ในขณะที่อีก 8 ประเภทของผลกระทบที่ปรากฏนั้นเกิดจากกระบวนการทางการเกษตรเป็นหลักจากผลกระทบที่ปรากฏทั้งหมด 12 ประเภท ในการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 15 ประเภทด้วยวิธี EDIP ซึ่งประเภทผลกระทบที่ไม่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลสบู่ดำ ได้แก่ การเกิดขยะอันตราย การเกิดขยะกัมมันตรังสี และการเกิดกากหรือตะกอนโลหะ



รูป 4.4 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นในกระบวนการทางการเกษตร การผลิตไบโอดีเซล และการใช้งานไบโอดีเซลจากสบู่ดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

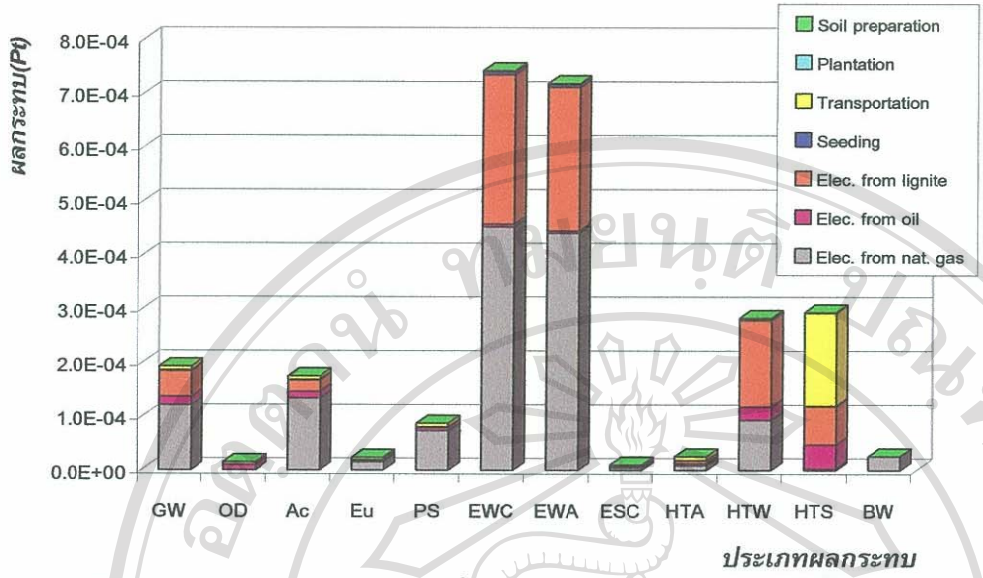
4.2.1 ผลกระทบจากกระบวนการทางการเกษตร

กระบวนการทางการเกษตร เป็นช่วงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลจากสบู่ดำ เมื่อวิเคราะห์ถึงความรุนแรงของแต่ละประเภทผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นพบว่า ในกระบวนการทางการเกษตรก่อให้เกิดผลกระทบต่อการสะสมสารพิษต่อระบบนิเวศของน้ำมากที่สุด รองลงมาคือ การเกิดพิษเฉียบพลันต่อระบบนิเวศของน้ำ และการเกิดพิษในน้ำที่ส่งผลต่อมนุษย์ ตามลำดับ

ตาราง 4.5 ปริมาณผลกระทบที่เกิดแต่ละประเภทและแหล่งที่มาของผลกระทบ จากกระบวนการทางการเกษตร

แหล่งผลกระทบ	หน่วยผลกระทบ	ปริมาณผลกระทบ
Natural gas	Pt	1.24E-03
Electricity from lignite	Pt	8.59E-04
Heat diesel	Pt	2.15E-04
Electricity from natural gas	Pt	1.40E-04
Electricity from oil	Pt	1.32E-04
Diesel	Pt	2.58E-06
LDPE	Pt	1.97E-06
Soil preparation	Pt	9.93E-07
Jatropha plantation	Pt	9.25E-08
รวม	**Pt**	**2.59E-03**

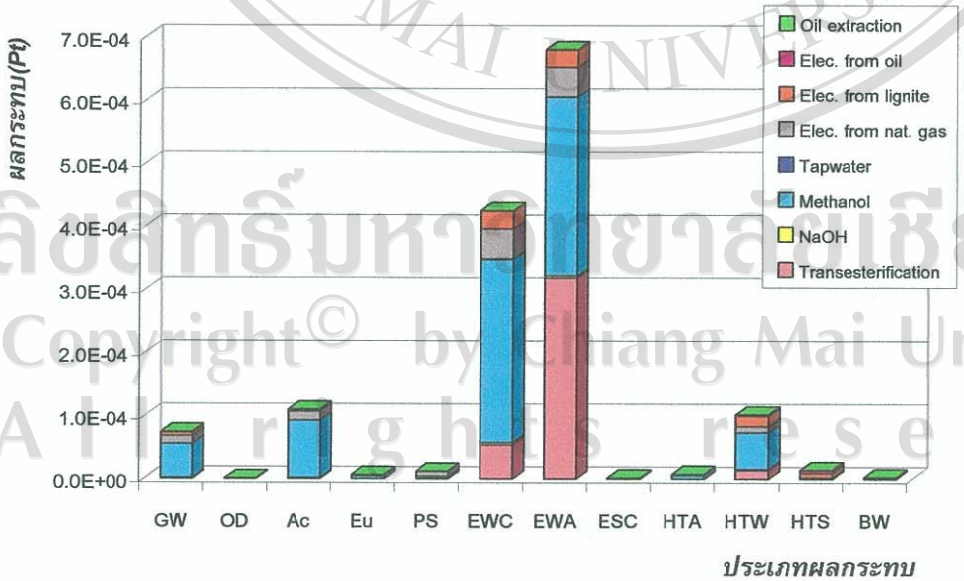
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.5 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณผลกระทบที่เกิดในแต่ละประเภทและแหล่งที่มาของผลกระทบจากกระบวนการทางการเกษตร

4.2.2 ผลกระทบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลนั้นเกิดผลกระทบในทุกประเภท ยกเว้น การเกิดขยะอันตราย การเกิดขยะกัมมันตรังสี และการเกิดกากหรือตะกอนโลหะ ดังรูป 4.6 และแหล่งที่มาของผลกระทบทั้งหมดในช่วงของการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำนั้นแสดงดังตาราง 4.6



รูป 4.6 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณผลกระทบที่เกิดในแต่ละประเภทและแหล่งที่มาของผลกระทบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.6 ปริมาณผลกระทบที่เกิดแต่ละประเภทและแหล่งที่มาของผลกระทบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ

แหล่งผลกระทบ	หน่วยผลกระทบ	ปริมาณผลกระทบ
Methanol	Pt	7.89E-04
Trans-esterification	Pt	3.87E-04
Natural gas	Pt	1.30E-04
Electricity from lignite	Pt	8.88E-05
NaOH	Pt	1.60E-05
Electricity from natural gas	Pt	1.48E-05
Electricity from oil	Pt	1.36E-05
Chemicals inorganic	Pt	3.59E-06
Tap water	Pt	0.00E+00
Oil extraction	Pt	0.00E+00
Electricity from hydropower	Pt	0.00E+00
รวม	**Pt**	**1.44E-03**

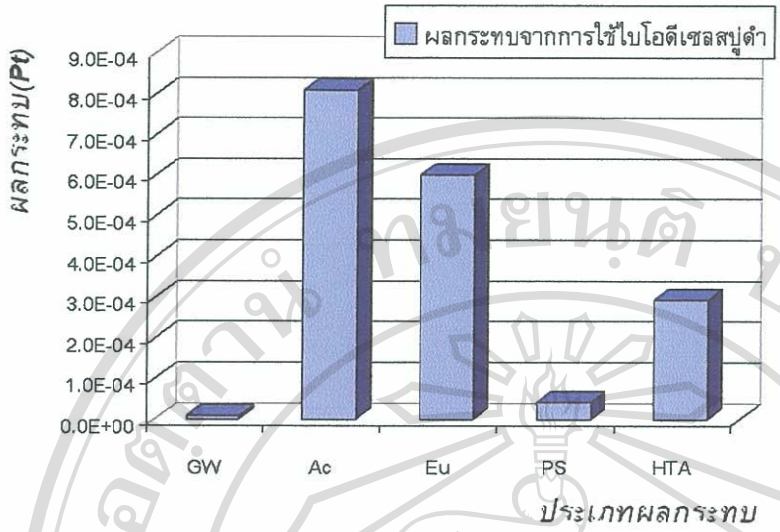
4.2.3 ผลกระทบจากการใช้ไบโอดีเซลสบู่ดำ

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนการใช้ไบโอดีเซลสบู่ดำพบว่า ผลกระทบที่เกิดมากที่สุด ได้แก่ การเกิดฝนกรด การเจริญเติบโตที่มากเกินไปของพืชน้ำ การเกิดพิษในอากาศที่ส่งผลต่อมนุษย์ การเกิดหมอกสารเคมี และภาวะโลกร้อนขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในตารางและรูปที่ 4.7

ตาราง 4.7 แหล่งที่มาและค่าผลกระทบจากการใช้ไบโอดีเซลจากสบู่ดำ

ประเภทผลกระทบ	หน่วย	ค่าผลกระทบ
Global warming	Pt	9.78E-06
Acidification	Pt	8.09E-04
Eutrophication	Pt	6.01E-04
Photochemical smog	Pt	4.29E-05
Human toxicity air	Pt	2.96E-04
รวม	**Pt**	**1.76E-03**

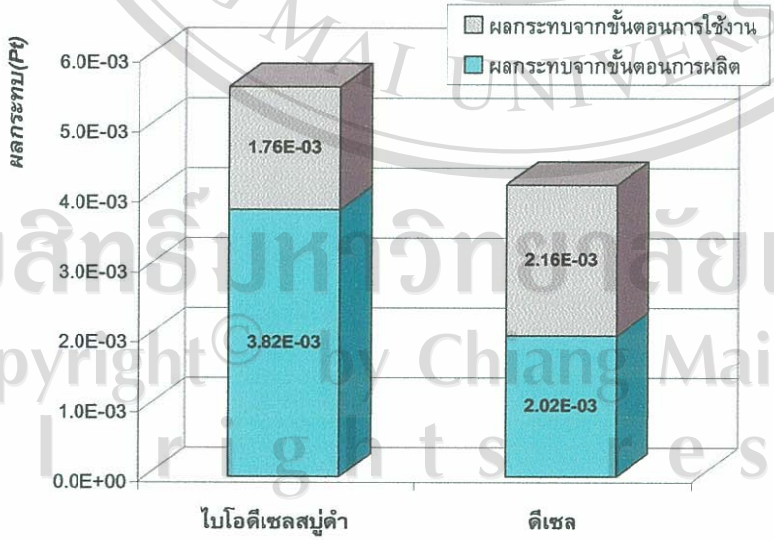
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.7 แผนภูมิเปรียบเทียบค่ากระทบแต่ละประเภทที่เกิดจากการใช้ไบโอดีเซลจากสบู่ดำ

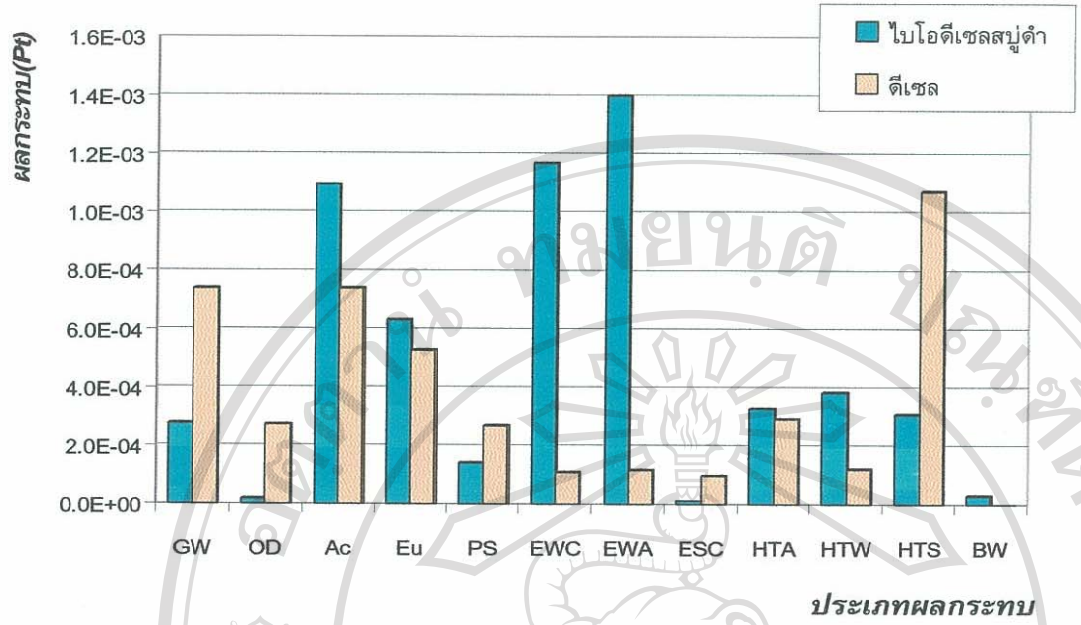
4.2.4 เปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลสบู่ดำกับน้ำมันดีเซล

ในการนำไบโอดีเซลสบู่ดำมาใช้ทดแทนดีเซลนั้น จำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตเพื่อให้ทราบถึงปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยเปรียบเทียบไบโอดีเซลสบู่ดำ 1 ลิตรกับดีเซล 0.862 ลิตร เนื่องจากขนาดเปรียบเทียบทั้งสองนั้นให้งานเท่ากันที่ 34.17 MJ ผลที่ได้จากการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.8



รูป 4.8 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลสบู่ดำกับน้ำมันดีเซลในขั้นตอนการผลิตและการใช้งาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.9 แผนภูมิเปรียบเทียบประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลจากสบู่ดำกับน้ำมันดีเซล

4.3 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

การคำนวณหาต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิตเทียบเป็นปีปัจจุบัน (2549) อาศัยวิธีการคำนวณดังนี้

$$LCC = C_C + C_O + C_M + C_F + C_R - S \qquad (3.4)$$

เมื่อ C_C = ต้นทุนคงที่ (บาท)

C_O = ต้นทุนในการดำเนินการ (บาท)

C_M = ต้นทุนในการซ่อมบำรุง (บาท)

C_F = ต้นทุนเชื้อเพลิงหรือพลังงาน (บาท)

C_R = ต้นทุนในการแทนที่และทำลายทิ้ง (บาท)

C_S = มูลค่าซาก (บาท)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อค่าในทุกตัวแปรเป็นมูลค่าปัจจุบัน (P: Present worth)

สามารถสรุปต้นทุนแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการดังรายละเอียดในภาคผนวก ข ได้ดังนี้

ตาราง 4.8 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำ (ไม่รวมต้นทุนสิ่งแวดล้อม)

ต้นทุน	การเกษตร (บาท)	การผลิตไบโอดีเซล (บาท)	การใช้งาน (บาท)
C_c	911,116.00	1,288,000.00	0
PC_O	21,143,670.72	5,751,650.47	0
PC_M	184,150.35	1,660,355.03	0
PC_F	2,449,833.15	1,332,788.26	0
PC_R	4,851.94	276,560.54	0
PS	-11,669.00	-82,284.08	0
รวมต้นทุนในแต่ละกระบวนการ (บาท)	24,681,953.16	10,227,070.22	0.00
รวมต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต(LCC)	34,909,023.24		

จากตาราง 4.8 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 34,909,023.24 บาท เมื่ออายุโครงการเป็น 20 ปี และผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ 1,200,000 ลิตรตลอดโครงการ โดยสามารถหาต้นทุนต่อลิตรในการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำได้ดังนี้

$$\text{ต้นทุนไบโอดีเซลสบู่ดำ (บาท/ลิตร)} = \frac{34,909,023.24}{1,200,000.00} \text{ บาท/ลิตร}$$

$$= 29.09 \text{ บาท/ลิตร}$$

4.4 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตรวมต้นทุนสิ่งแวดล้อม

ในการคิดต้นทุนโดยทั่วไปแล้วจะไม่มีการนำต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมมาคิดด้วย โดยในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้นำเอาต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลจากสบู่ดำมารวมอยู่ด้วย เพื่อให้เห็นถึงต้นทุนแท้จริงที่เกิดขึ้น

ต้นทุนสิ่งแวดล้อม (C_E)

ในที่นี้ได้คำนวณหาค่าใช้จ่ายด้านสิ่งแวดล้อม เฉพาะผลกระทบจากมลพิษทางตรงที่เกิดขึ้นจากระบบที่กำลังศึกษาเท่านั้น ในส่วนมลพิษทางอ้อมที่เกิดจากกระบวนการอื่นที่เกี่ยวเนื่องกับระบบที่กำลังศึกษา แต่อยู่นอกเหนือขอบเขตเช่น มลพิษที่เกิดในกระบวนการผลิตไฟฟ้า มลพิษ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากกระบวนการขุดเจาะน้ำมัน เป็นต้น จะไม่ถูกนำมาพิจารณา โดยมลพิษทางตรงที่นำมาพิจารณานั้นจะมาจากมลพิษที่เกิดจากการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ ได้แก่มลพิษจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องจักร มลพิษจากการใช้สารเคมี น้ำเสีย และ มลพิษจากการเผาไหม้ไบโอดีเซลสบู่ดำในการนำไปใช้งาน โดยจะมุ่งเน้นที่มลพิษหลัก (Primary pollutants) ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากได้แก่ SO_2, CO_2, NO_x, N_2O, CH_4 และ CO โดยในการคำนวณหาต้นทุนผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นจะมีหลักการพิจารณาที่ไม่เหมือนกันในแต่ละชนิด เนื่องจากมลพิษแต่ละชนิดมีวิธีในการกำจัดที่แตกต่างกัน ดังนั้นการคำนวณก็จะแตกต่างกันไปด้วย โดยงานวิจัยนี้ใช้ค่าใช้จ่ายด้านสิ่งแวดล้อมต่อหน่วยอ้างอิงจากข้อมูลของประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นหลัก ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข สำหรับมูลค่าต้นทุนสิ่งแวดล้อมคำนวณได้จากสมการ 4.1 และต้นทุนสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้แสดงดังตาราง 4.9

ตาราง 4.9 ต้นทุนสิ่งแวดล้อมของมลพิษทางตรงในแต่ละช่วงกระบวนการ

มลพิษทางตรง	VED บาท/ton	มลพิษทางการเกษตร (ตัน/ปี)	มลพิษในการผลิตไบโอดีเซล (ตัน/ปี)	มลพิษในการใช้งาน (ตัน/ปี)	ต้นทุนสิ่งแวดล้อมทางการเกษตร (บาท/ปี)	ต้นทุนสิ่งแวดล้อมในการผลิตไบโอดีเซล (บาท/ปี)	ต้นทุนสิ่งแวดล้อมในการใช้งาน (บาท/ปี)
NOx	67,332.28	0.848	0.000	6.922	57,079.113	0.000	466,062.333
SO_2	14,866.77	0.004	0.000	0.000	56.901	0.000	0.000
VOC	50,438.05	0.016	0.000	0.000	800.888	0.000	0.000
TSP*	43,884.96	0.001	0.000	0.028	45.949	0.000	1,244.227
CO	8,962.32	0.015	0.000	1.496	134.267	0.000	13,406.921
CO_2	2,175.72	2.692	0.000	0.000	5,856.263	0.000	0.000
CH_4	2,416.64	0.003	0.000	0.000	7.521	0.000	0.000
N_2O	43,447.59	0.008	0.000	0.000	353.686	0.000	0.000
WW**	52.20	0.000	0.067	0.000	0.000	3.480	0.000
รวมมูลค่ารายปีของต้นทุนสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการ(บาท/ปี)					64,334.59	3.48	480,713.48
รวมมูลค่ารายปีของต้นทุนสิ่งแวดล้อม (บาท/ปี)					**545,051.55**		

*Total Suspended Particle, **Wastewater

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต้นทุนสิ่งแวดล้อมของมลพิษใดเท่ากับ

= ต้นทุนสิ่งแวดล้อมต่อหน่วย (VED) × ปริมาณมลพิษที่ปล่อย (4.1)

(VED: Value of Environmental Damage)

จากตาราง 4.9 มูลค่าปัจจุบันจากต้นทุนสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นต่อปีมีค่าเป็น 545,051.55 บาท และถ้าคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันของโครงการตลอด 20 ปีจะมีค่าเป็น 5,754,214.69 บาท เมื่อกำหนดให้ในแต่ละปีมีการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ 60,000 ลิตร ดังนั้นสามารถคำนวณต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมต่อลิตรไบโอดีเซลสบู่ดำจากต้นทุนสิ่งแวดล้อมรายปีได้ดังนี้

ต้นทุนสิ่งแวดล้อม (บาท/ลิตร) $= \frac{545,051.55}{60,000.00}$ บาท/ลิตร

$= 9.08$ บาท/ลิตร

โดยคิดเป็นต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำ

$= \frac{64,338.07}{60,000.00}$ บาท/ลิตร

$= 1.07$ บาท/ลิตร

และคิดเป็นต้นทุนในการใช้งาน $= \frac{480,713.48}{60,000.00}$ บาท/ลิตร

$= 8.01$ บาท/ลิตร

จากสมการที่ 3.4 เมื่อพิจารณาต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมจากข้อมูลดังตาราง 4.9 ร่วมด้วยกับต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตจากตาราง 4.8 เมื่อคำนวณเทียบเป็นมูลค่าเงิน ณ ปีปัจจุบัน (2549) จะได้ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตที่รวมต้นทุนสิ่งแวดล้อมเป็นดังนี้

$$LCC = C_C + C_O + C_M + C_F + C_R - S + E \quad (3.4)$$

เมื่อ E = มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนสิ่งแวดล้อม (บาท)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้น LCC = 34,909,023.24 + 5,556,523.31

LCC = 40,465,546.55 บาท

ต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิต (รวมต้นทุนสิ่งแวดล้อม) ต่อ 1 ลิตร

$$= \frac{\text{ต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิต(บาท)}}{\text{ปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตรวมตลอดวัฏจักรชีวิต(ลิตร)}}$$

$$= \frac{40,465,546.55}{1,200,000.00} \text{ บาท/ลิตร}$$

= 33.72 บาท/ลิตร

ตาราง 4.10 สรุปต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำ (รวมต้นทุนสิ่งแวดล้อม)

ต้นทุน	เงื่อนไขในการพิจารณา	รวมต้นทุน (บาท)
C_c	อายุโครงการ20 ปี อัตราดอกเบี้ย 7.5 %	2,199,116.00
PC_O	อายุโครงการ 20 ปี อัตราดอกเบี้ย 7.5 %	26,895,321.19
PC_M	อายุโครงการ 20 ปี อัตราดอกเบี้ย 7.5 % Escalation rate 3.0 %	1,844,505.38
PC_F	อายุโครงการ 20 ปี อัตราดอกเบี้ย 7.5 % Escalation rate พลังงานไฟฟ้า 3.13% Escalation rate เชื้อเพลิง 1.6 %	3,782,621.28
PC_R	อายุโครงการ 20 ปี อัตราดอกเบี้ย 7.5 %	281,412.48
PS	อายุโครงการ20 ปี อัตราดอกเบี้ย 7.5 %	(93,953.09)
E	อายุโครงการ20 ปี อัตราดอกเบี้ย 7.5 %	5,556,523.31
รวมต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต(LCC)		40,465,546.55

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการคำนวณเทียบเป็นมูลค่าในปีปัจจุบัน ของต้นทุนรวมทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำตลอดวัฏจักรชีวิต โดยพิจารณาต้นทุนสิ่งแวดล้อมด้วย จะได้ต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิต (LCC) ที่รวมต้นทุนสิ่งแวดล้อมแล้วเท่ากับ 33.72 บาท/ลิตร สูงกว่า LCC ที่ไม่รวมต้นทุนสิ่งแวดล้อมที่มีค่าเป็น 29.09 บาท/ลิตร อยู่เท่ากับ 4.63 บาท/ลิตร

จะเห็นได้ว่าต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นมานี้ เกิดจากการใช้ไบโอดีเซลสบู่ดำเป็นสาเหตุหลัก เหตุที่ควรนำต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมมาพิจารณาในการคิดต้นทุนในครั้งนี้ด้วยก็เนื่องจากในเมื่อเราเป็นผู้ใช้ประโยชน์จากทรัพยากรแล้วทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เราก็ควรร่วมรับผิดชอบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้งานของเรานี้ด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved