การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

Life Cycle Assessment of Palm Oil Biodiesel Production

ปราณี หนูทองแก้ว[1]* และ เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
โทร : 085-6940309 *อีเมล์ nutongkaew19@hotmail.com
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
อีเมล์ sate@eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากพืชน้ำมันและไขมันสัตว์ โดยพืชน้ำมันที่นำมาผลิตมีหลากหลายชนิด ปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจสำหรับประเทศไทยเนื่องจากให้ผลผลิตสูง แต่การที่จะตัดสินใจเลือกใช้พลังงานใดนั้นควรมีการคำนึงถึงผลได้ผลเสียที่จะเกิดขึ้นด้วย ดังนั้นบทความนี้จึงได้นำเสนอการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน ซึ่งทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในสามช่วงกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการทางการเกษตร การผลิตไบโอดีเซลปาล์มน้ำมัน และการนำไบโอดีเซลไปใช้งาน จัดทำบัญชีรายการวัตถุดิบและพลังงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางการเกษตร การหีบน้ำมันปาล์มดิบ และการผลิตไบโอดีเซล จากนั้นวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro พิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้วัตถุดิบและพลังงานในแต่ละกระบวนการที่เกี่ยวข้อง โดยจะพิจารณาผลกระทบที่เกิดในแง่การใช้ทรัพยากร สุขภาพอนามัยของมนุษย์ และผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เป็นต้น ในการศึกษาจะพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการได้มาซึ่งไบโอดีเซล 1 ลิตร เพื่อให้เห็นข้อดีและข้อด้อยของการใช้ไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน อันจะนำไปสู่การพัฒนาด้านพลังงานทดแทนสำหรับประเทศไทยต่อไป

Abstract

Recently, bio-diesel fuel is interestingly produced from various kinds of plants and animal fats. Palm-oil bio-diesel is one of the potential resources as raw material for bio-diesel production in Thailand.

Before palm-oil bio-diesel becomes a common commodity product in the market, it is necessary to indicate clearly about the surrounded impacts of bio-diesel or so call life cycle assessment from cradle to grave. In order to generate bio-diesel, energy and materials are input and waste and emissions are output as well, in which certainly affect to the environment. Therefore, LCA of palm-oil bio-diesel is applied to quantify and verify the impacts of palm oil bio-diesel from life cycle aspects, The objective of this paper is to analyze the environmental impacts of palm-oil bio-diesel based on EDIP methodology. The system boundary is focused into 3 stages: oil palm plantation, trans-esterification and use stage. As the result, it shows the environmental impact per one liter of palm oil bio-diesel so that we can compare with ordinary diesel or use these result to minimize the impacts or improve the production stage to reduce the emission. According to these concerns, not only we can make a green awareness but also this will lead to a sustainable social of Thailand.

1. ความเป็นมา

จากวิกฤติพลังงานในปัจจุบันทำให้ประเทศได้รับผลกระทบต่างๆ อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณมาก ยกตัวอย่างเช่น น้ำมันดีเซลมีปริมาณการใช้มากถึง 51.04 ล้านลิตรต่อวัน ซึ่งถือว่ามีปริมาณการใช้สูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ และแนวโน้มราคาน้ำมันดีเซลปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเพื่อเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงในด้านพลังงานของประเทศ ทำให้มีการวิจัยและพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนจากวัตถุดิบภายในประเทศมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใช้แทนน้ำมันดีเซล ซึ่งเรียกว่า *ไบโอดีเซล*

พืชน้ำมันที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของพืช และสภาพภูมิศาสตร์ รวมทั้งความสามารถในการให้ผลผลิตน้ำมันของพืชชนิดนั้นๆ สำหรับประเทศไทยมีการสนับสนุนให้ปาล์มน้ำมันเป็นพืชวัตถุดิบลำดับแรกในการนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล

เมื่อพิจารณาถึงการได้มาซึ่งไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันนั้น พบว่าต้องผ่านขั้นตอนต่างๆมากมาย เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว การขนส่ง การผลิต การจัดการของเสียตลอดจนการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ เป็นต้น ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีการใช้ทรัพยากร พลังงานและ

อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเพื่อให้การพัฒนาการใช้ประโยชน์ไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันเป็นไปอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน เพื่อทราบถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิต ทำให้สามารถวางแผนการผลิตหรือตัดสินใจเลือกลงทุนผลิตไบโอดีเซล เพื่อให้เกิดผลดีอย่างยั่งยืนต่อประเทศไทยต่อไป

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

3. ทฤษฎีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

LCA ของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ใดๆ เป็นวิธีการรวบรวมและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตตั้งแต่เกิดจนตาย (From cradle to grave) เริ่มจากการใช้วัตถุดิบและพลังงานในกระบวนการผลิต การขนส่ง การเก็บรักษา การใช้ การทิ้งและการจัดการของเสียที่เกิดจากกระบวนการ โดยระบุถึงปริมาณพลังงานและวัสดุทั้งหมดที่ใช้ รวมทั้งของเสียทั้งหมดที่มีการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมภายใต้ขอบเขตที่กำหนด นำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาหาวิธีปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการใดตามมาตรฐาน ISO 14040-14043 ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

(1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) เป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบว่าอะไรคือสิ่งที่ต้องการศึกษา และจะทำการศึกษาอย่างไร ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดนั้นสิ่งสำคัญอยู่ที่การกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษานั้น

(2) การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis) สำหรับขั้นตอนนี้จะเป็นการทำบัญชีรายการและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยข้อมูลที่เก็บรวบรวม ได้แก่ ข้อมูลที่เกี่ยวกับชนิดและการใช้พลังงาน วัสดุ ทรัพยากรธรรมชาติ ข้อมูลของชนิดและปริมาณการปล่อยของเสียหรือมลพิษสู่อากาศ น้ำ และดิน รวมไปถึงปริมาณและรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่เข้าและออกแต่ละกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

(3) การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment) ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พร้อมจัดแบ่งเป็นประเภท และทำการประเมินเปรียบเทียบความสำคัญของผลกระทบแต่ละชนิดที่เกิดขึ้น

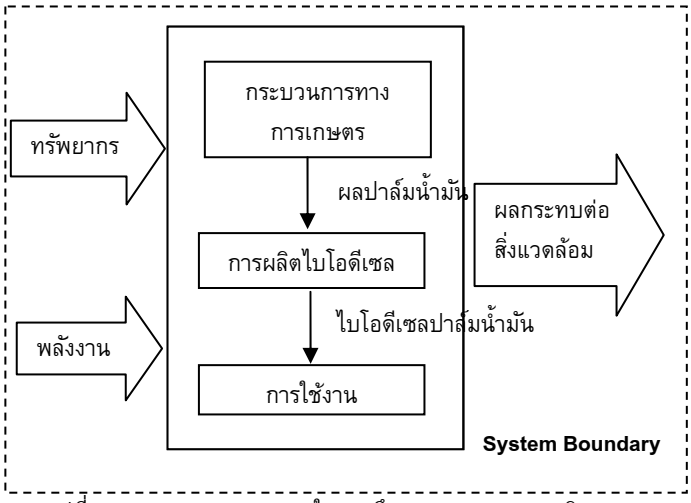
(4) การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Interpretation) เป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่ได้ และนำเสนอแนวทางในการแก้ไขหรือปรับปรุงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดตลอดวัฏจักรชีวิตให้มีปริมาณและความรุนแรงโดยรวมลดลงในประเด็นที่เราสนใจ

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

จากหลักการของ LCA สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

4.1 ศึกษาเพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน และเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิต

4.2 ขอบเขตการศึกษา ในการศึกษา LCA ของการผลิตไบโอดีเซลนี้จะใช้วิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยวิธี EDIP 2003 โดยโปรแกรม SimaPro7.1 ซึ่งมีขอบเขตในการศึกษาดังรูปที่ 1



รูปที่1 แสดงขอบเขตของระบบในการศึกษา LCA ของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

ทำการเก็บข้อมูล ณ ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่จำกัด จังหวัดกระบี่

ในการศึกษา LCA นั้นจะไม่ทำการศึกษาผลกระทบจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่จัดเป็นต้นทุนคงที่ เช่น อาคารหรือโรงเรือน เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการ เนื่องจากต้องการทราบผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยตรงจากการใช้ทรัพยากร พลังงาน ในการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันเป็นหลัก (Major impact) ส่วนผลกระทบที่เกิดจากส่วนที่ไม่นำมาคิดนั้นจัดเป็นผลกระทบรอง (Minor impact) ซึ่งจะทำให้สามารถมองเห็นภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น (H. Fredriksson et al, 2005)

หน่วยการทำงาน (Functional unit)

หน่วยการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCA) ของการผลิตไบโอดีเซลปาล์มน้ำมันนั้นจะได้เป็น “Pt (Point) ต่อการผลิตไบโอ-ดีเซลปาล์มน้ำมัน 1 ลิตร”

4.3 การทำบัญชีรายการ (Inventory) ในขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการจะทำการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ในด้านการใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน ของเสียที่เกิดขึ้นจากระบบตลอดจนผลิตภัณฑ์พลอยได้ การเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่มีความสำคัญต่อการศึกษาในครั้งนี้ ทั้งข้อมูลที่เก็บได้จริงจากกระบวนการ (Primary

data) และข้อมูลที่ได้จากการนำข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วมาใช้ (Secondary data) สามารถจัดทำบัญชีรายการตามการจำแนกกระบวนการได้ดังนี้

ตารางที่ 1 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนทางการเกษตร

ลำดับ	Input/Output	ปริมาณ/หน่วย (1 ปี)
1. ข้อมูลจากการเพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน: 153,890 ต้น (อนุบาล 14 เดือน)		
1	ถุงเพาะชำ (LDPE) (36 ใบ/kg)	153,890 ถุง 4.3×10^{3} kg
2	ดิน	2.54×10^{6} kg
3	Pesticide Glyphosate	2.46×10 kg 2.46×10 kg
4	ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 16-16-16 Boron Kieserite	 9.23×10 kg 3.38×10^{2} kg 1.54×10^{2} kg 1.54×10^{3} kg
5	น้ำมันดีเซล	2.46×10^{3} L
6	น้ำ	2.13×10^{8} L
7	พลังงานไฟฟ้า	1.63×10^{2} MW
ข้อมูลจากการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน		
1	ปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 16-16-16 0-3-0 KCl Kieserite Boron	 5.39×10^{5} kg 6.93×10^{5} kg 2.31×10^{5} kg 5.39×10^{5} kg 2.31×10^{5} kg 3.08×10^{4} kg
2	Pesticide	1.54×10^{3} kg
3	Glyphosate	2.45×10^{3}kg
4	น้ำมันดีเซล	1.40×10^{4} L
5	น้ำมันดีเซล (ขนส่ง)	2.71×10^{3} L
6	การขนส่ง	8,120 km
7	ทางใบ	2.77×10^{7} kg

ตารางที่ 2 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์ม

ลำดับ	Input/Output	ปริมาณ/หน่วย (1 ปี)
2. ข้อมูลจากการหีบน้ำมันปาล์มดิบ		
1	ผลปาล์มสดทั้งทะลาย	2.03×10^{7} kg
2	พลังงานไฟฟ้า	1.05×10^{3} GJ
3	ทะลายเปล่า	4.06×10^{6} kg
4	เส้นใย	2.84×10^{6} kg
5	กะลา	1.42×10^{6} kg
6	กาก ตะกอน	6.08×10^{5} kg
7	เมล็ดใน	1.22×10^{6} kg
8	น้ำเสีย	7.69×10^{6} L
9	Fiber	4368000×10^{7} kg
	Air Emission	
1	Particulate	3306.58 kg
2	NO_2	5944.85 kg
3	SO_2	52.42 kg
4	CO	14645.9 kg

ตารางที่ 3 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

ลำดับ	Input/Output	ปริมาณ/หน่วย (1 ปี)
3. ข้อมูลจากการผลิตไบโอดีเซลปาล์มน้ำมัน		
1	น้ำมันปาล์มดิบ	3.00×10^{6} L
2	น้ำ	2.48×10^{6} L
3	พลังงานไฟฟ้า	6.99×10^{3} MJ
4	เชื้อเพลิงไบโอดีเซล	5.83×10^{4} kg
5	H_3PO_4	2.64×10^{4} kg
6	Methanol	7.42×10^{5} kg
7	NaOH	3.01×10^{4} kg
8	น้ำเสีย	2.48×10^{6} L
9	Glycerol	9.48×10^{5} kg
10	Methanol (Recovery)	1.25×10^{5} kg

ตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดไอเสียจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันเชื้อเพลิง : ดีเซล-ปาล์ม(บริสุทธิ์) ผสมน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไม่เกิน 10 % โดยปริมาตร)

Emission	ปริมาณที่วัดได้			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
THC (g/km)	0.681	0.673	0.667	0.674
NOx (g/km)	1.132	1.115	1.118	1.122

ตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดไอเสียจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันเชื้อเพลิง : ดีเซล-ปาล์ม(บริสุทธิ์) ผสมน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไม่เกิน 10 % โดยปริมาตร) (ต่อ)

Emission	ปริมาณที่วัดได้			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
CO (g/km)	0.503	0.512	0.518	0.511
PM (mg/km)	0.160	0.154	0.152	0.155

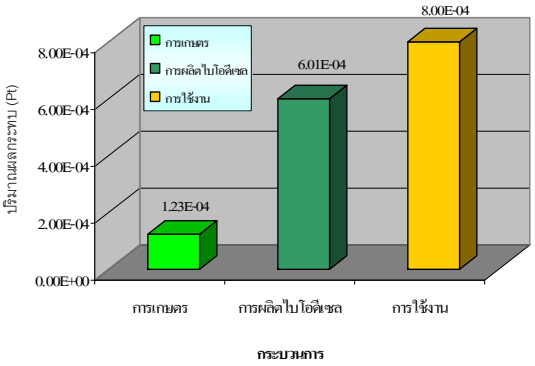
อ้างอิงข้อมูลการผลการทดสอบการใช้งานไบโอดีเซลปาล์มน้ำมันของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.

5. ผลการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต

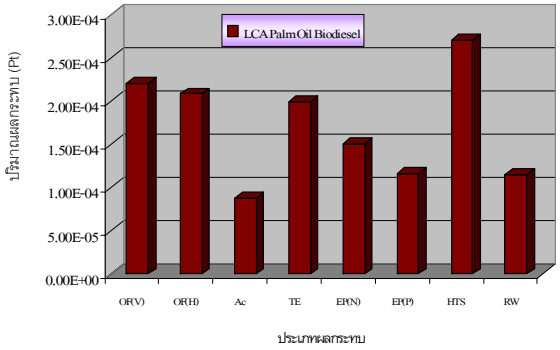
การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ กระบวนการการเกษตร กระบวนการผลิตไบโอดีเซล และขั้นตอนการนำไบโอดีเซลไปใช้งาน จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า ในขั้นตอนของการใช้งานให้ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด เท่ากับ 8.00 × 10^{-4} Pt รองลงมา คือ การผลิตไบโอดีเซล และกระบวนการทางการเกษตร ซึ่งมีค่าผลกระทบ เท่ากับ 6.01 × 10^{-4} Pt , และ 1.23 × 10^{-4} Pt ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ค่าผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลปาล์มน้ำมัน แยกตามช่วงกระบวนการ ในการผลิตไบโอดีเซลปาล์มน้ำมัน 1 ลิตร

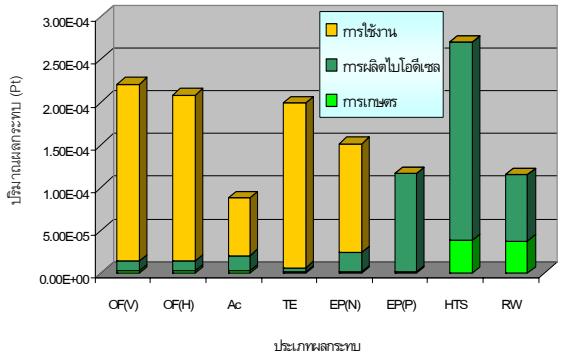
กระบวนการ	ค่าผลกระทบ (Pt)	ผลกระทบ (%)
กระบวนการทางการเกษตร	1.23× 10^{-4}	8.07
การผลิตไบโอดีเซลปาล์มน้ำมัน	6.01× 10^{-4}	39.44
การใช้งาน	8.00× 10^{-4}	52.49
รวม	1.52× 10^{-3}	100.00



รูปที่ 2 แสดงปริมาณผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลปาล์มน้ำมัน ในแต่ละกระบวนการ

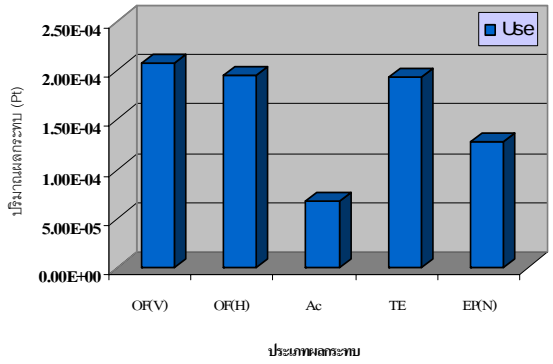


รูปที่ 3 แสดงปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลปาล์มน้ำมัน

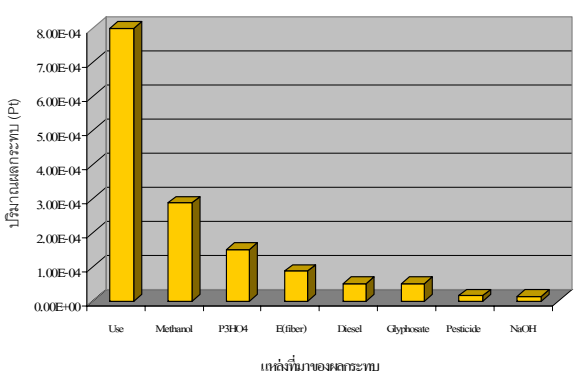


รูปที่ 4 แสดงปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากแต่ละช่วงกระบวนการ ตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลปาล์มน้ำมัน

จากรูปที่ 3 และ 4 จะเห็นได้ว่าปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีค่าสูงสุด คือ การเกิดพิษในดินที่ส่งผลต่อมนุษย์ (HTS) ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล ส่วนผลกระทบหลักๆ รองลงมาเกิดขึ้นในขั้นตอนของการใช้งาน เนื่องจากการเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซล โดยผลกระทบหลักที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการใช้งานแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดในขั้นตอนการใช้งาน



รูปที่ 6 แสดงปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากแหล่งที่มาต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลปาล์มน้ำมัน

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าผลกระทบส่วนใหญ่เกิดขั้นตอนการนำไบโอดีเซลไปใช้กับเครื่องยนต์ รองลงมาเป็นผลกระทบที่เกิดจากการใช้สารเคมี คือ เมทานอลและกรดฟอสฟิริก ในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

6. สรุป

จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.1 มาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต โดยวิธี EDIP 2003 สามารถสรุปได้ดังนี้

- ผลกระทบที่เกิดจากการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน 1 ลิตรมีค่าเท่ากับ 1.52×10^{-3} Pt ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่ คือ การเกิดพิษในดินที่ส่งผลต่อมนุษย์ (Human toxicity soil) มีค่าความรุนแรงของผลกระทบเท่ากับ 2.70×10^{-4} Pt รองลงมา คือ การก่อตัวของโอโซนที่เป็นพิษต่อพืช (Ozone formation Vegetation) และ การก่อตัวของโอโซนที่เป็นพิษต่อมนุษย์ (Ozone formation Human) ซึ่งมีค่าความรุนแรงของผลกระทบ เท่ากับ 2.21×10^{-4} Pt และ 2.09×10^{-4} Pt ตามลำดับ

- ขั้นตอนที่เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ขั้นตอนการใช้งาน มีค่าความรุนแรงของผลกระทบ เท่ากับ 8.00×10^{-4} Pt รองลงมา คือ กระบวนการการผลิตไบโอดีเซล และกระบวนการทางการเกษตร ซึ่งมีค่าความรุนแรงของผลกระทบ เท่ากับ 6.01×10^{-4} Pt และ 1.23×10^{-4} Pt ตามลำดับ

- ผลกระทบส่วนใหญ่ที่เกิดในขั้นตอนการใช้งาน คือ การก่อตัวของโอโซนที่เป็นพิษต่อพืช (Ozone formation Vegetation) ซึ่งมีค่าผลกระทบเท่ากับ 2.08×10^{-4} Pt รองลงมา คือ การก่อตัวของโอโซนที่เป็นพิษต่อมนุษย์ (Ozone formation Human) และ การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำ (Terrestrial eutrophication) ซึ่งมีค่าความรุนแรงของผลกระทบ เท่ากับ 1.94×10^{-4} Pt และ 1.93×10^{-4} Pt ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผู้สนับสนุนค่าใช้จ่าย

ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด จังหวัดกระบี่

เอกสารอ้างอิง

1. Suwanchote, P., Sumlee, P. and Chimaphan, S. (2004). *Feasibility Study on Biodiesel Production for Commercial Purpose from Crude Palm Oil : Case Study of Uratpattirakit Parthership, Surattani Province*. Agribusiness and Food Industry Management,King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.
2. Sampattagul, S. (2005). *Life Cycle Impact Analysis and Development of NETS-GPI for Electricity Generation System in Thailand* (pp. 22-23), Division of System Engineering, Graduate School of Engineering: Mie, Japan.
3. Pleanjai, S., Gheewala, S. H. and Garivait, S. *Environmental Evaluation of Biodiesel Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective*. 2004. The Joint Graduate School of Energy and Environment , King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.
4. Vanichsenil, T., Intaravichail, S., Saitthiti, B. and Kiatiwat, T. 2000. Potential Biodiesel Production from Palm Oil for Thailand. Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
5. Graedel, T. E. (1998). *Streamlined Life-Cycle Assessment* (pp.18-24). Prentice Hall: Bell Laboratories, Lucent Technology, School of Forestry and Environmental Studies, Yale University.
6. Tongurai, C., Klinpikul, S., Bunyakan, C. and Kiatsimkul, P. 2002. *Biodiesel Production from Palm Oil*. Songklanakarin J. Sci. Technol, 23 (Suppl): Oil Palm: 831-841.

.