ENVIRONMENTAL LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PALM OIL BASED MICROEMULSION BIOFUEL PRODUCTION

Chaw Su Hlaing

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University
in Academic Partnership with
The University of Michigan, The University of Oklahoma,
Case Western Reserve University and Institut Français du Pétrole
2015

I28368447 580012

Thesis Title:	Environmental Life Cycle Assessment of Palm Oil Based Microemulsion Biofuel Production
By:	Chaw Su Hlaing
Program:	Petrochemical Technology
Thesis Advisors:	Dr. Ampira Charoensang
	Asst. Prof. Pomthong Malakul
	Prof. David A. Sabatini

Accepted by The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science.

.....College Dean

(Asst. Prof. Pomthong Malakul)

Thesis Committee:

.....

(Dr. Ampira Charoensaeng)

.....

(Asst.Prof. Pomthong Malakul)

.....

(Prof. David A. Sabatini)

.....

(Asst. Prof. Kitipat Siemanond)

.....

(Dr. Noulkamol Arpornpong)

ABSTRACT

5671041063: Petrochemical Technology Program

Chaw Su Hlaing: Environmental Life Cycle Assessment of Palm Oil Based Microemulsion Biofuel Production

Thesis Advisors: Dr. Ampira Charoensang, and Asst. Prof. Pomthong Malakul 116 pp.

Keywords: Life cycle assessment (LCA)/ Microemulsion/ Biofuels/ GHG emission/ Environmental impacts

This study focuses on evaluation of Greenhouse Gas (GHG) emissions and environmental impacts of microemulsion (ME) biofuels from different formulations based on life cycle assessment (LCA) approach. The functional unit is set to be one ton of ME biofuel. LCA system boundary was separated into four stages: cultivation, oil extraction, refining and ME stage. The ME biofuels with different formulations had been set for four different scenarios by varying the type and ratio of raw materials used. In addition, other potential environmental impact assessments of ME biofuel including global warming, acidification, eutrophication, ozone layer depletion, abiotic depletion, photochemical oxidation, land use, human toxicity, fresh water aquatic, marine aquatic and terrestrial ecotoxicity were also be evaluated by using commercial software, SimaPro version 7.1 with Eco-indicator 99 (H) and CML 2 baseline 2000 methods. Four different Scenarios evaluated in this study are Scenario I (base case), Scenario II (biobased case), Scenario III (butanol blend case) and Scenario IV (RBDPO case). The GHG emissions results described that Scenario IV contributes to the lowest GHG emissions (1,017 $kgCO_2$) and lowest environmental impacts as the result of using refined bleached deodorized palm oil (RBDPO) in the ME formulation. When RBDPO was used to formulate ME biofuel, the total GHG emission was significantly reduced comparing to base case (1,448 $kgCO_2$).When the emissions of each four scenarios were compared based on the normalized results, Scenario II contributed significantly to some environmental impact categories such as fresh water aquatic ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity and eutrophication.

บทคัดย่อ

นางสาว Chaw Su Hlaing : การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรน้ำมันปาล์มในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชั่น (Environmental Life Cycle Assessment of Palm Oil Based Microemulsion Biofuel Production) อ. ที่ปรึกษา : ดร.อัมพิรา เจริญแสง 116 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอีมัลชั่นที่มีส่วนผสมแตกต่างในแต่ละชนิดโดยใช้การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยมีหน่วยในการคำนวนคือน้ำหนักหนึ่งตันของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอีมัลชั่น ขอบเขตของการประเมินแบ่งออกเป็นสี่ขั้นตอนคือ การเพาะปลูกต้นปาล์ม การสกัดน้ำมันปาล์ม การกลั่นน้ำมันปาล์มและกระบวนไมโครอีมัลชั่น ซึ่งการผลิตน้ำมันจัดออกเป็นสี่รูปแบบโดยการปรับเปลี่ยนชนิดและสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอีมัลชั่นที่ศึกษาโดยใช้โปรแกรมซิกม่าโปรเวอร์ชั่น 7.1 ได้แก่ ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ศักยภาพการก่อให้เกิดฝนกรด ศักยภาพที่ส่งผลต่อระบบนิเวศในน้ำ ศักยภาพที่ทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง ศักยภาพในการเกิดออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี ศักยภาพที่มีผลในการใช้พื้นที่ ศักยภาพการก่อให้เกิดพิษต่อมนุษย์ ศักยภาพการก่อให้เกิดพิษต่อระบบนิเวศทั้งบนบกและในน้ำ การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษาคือ กรณีศึกษาที่หนึ่ง (กรณีพื้นฐาน) กรณีศึกษาที่สอง (กรณีการใช้ส่วนผสมจากธรรมชาติ) กรณีศึกษาที่สาม (กรณีการใช้บิวทานอล) และกรณีศึกษาที่สี่ (การใช้น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์) จากผลการศึกษาพบว่าแบบที่สี่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเรื่องการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด (1,017 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์) และยังส่งผลกระทบน้อยที่สุดในด้านอื่นๆด้วย และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาแบบที่1 (พื้นฐาน) กับ การใช้น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ พบว่าให้ผลกระทบการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงเหลือ 1,448 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ ในการเปรียบเทียบจากค่าพื้นฐาน จากสี่กรณีศึกษาพบว่า กรณีศึกษาที่สอง (กรณีการใช้ส่วนผสมจากธรรมชาติ) ส่งผลกระทบในเรื่องของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อย แต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านอื่นๆที่มาก

ACKNOWLEDGEMENTS

First and foremost, I would like to express my grateful gratitude to Dr. Ampira Charoensaeng, my advisor, for providing invaluable knowledge, beneficial suggestions and kind support throughout this research work.

I wish to express my sincere gratitude to Asst. Prof. Pomthong Malakul, my co-advisor for kind support, understanding and encouragement.

I would like to thank Asst. Prof. Kitipat Siemanond and Dr. Noulkamol Arpornpong for being my thesis committee. Their suggestions and comments are valuable for this research.

I am also grateful for full scholarship funding provided by The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, Thailand and this research work was supported by the new researcher from the Thailand Research Fund (TRF 5780163).

Last but not least, I would like to thank all PPC staff and all friends for their times and support.

Finally, I wish to express my appreciation to my family for their love and supports.

TABLE OF CONTENTS

		PAGE
Title Page		i
Abstract (in English)		iii
Abstract (in Thai)		iv
Acknowledgements		v
Table of Contents		vi
List of Tables		ix
List of Figures		x
CHAPTER		
I	**INTRODUCTION**	1
II	**LITERATURE REVIEW**	4
	2.1 Microemulsion Biofuel	4
	2.2 Benefits of Microemulsion Biofuel	4
	2.3 Raw Materials Used in Microemulsion Formulation	5
	2.3.1 Surfactant	5
	2.3.2 Cosurfactant	5
	2.3.3 Alkanol as Fuel Additives	6
	2.3.4 Vegetable Oils	7
	2.4 Life Cycle Assessment (LCA)	13
	2.4.1 LCA Methodology	14
	2.4.2 Application of LCA	16
	2.4.3 LCA and Related Studies of Biofuel Production	17

CHAPTER PAGE

III	**METHODOLOGY**	22
	3.1 Materials and Equipment	22
	3.1.1 Equipment	22
	3.1.2 Software	22
	3.2 Experimental Procedures	22
	3.2.1 Preparation	22
	3.2.2 Goal, Scope, Functional Unit and System Boundary	22
	3.2.3 Inventory Analysis (LCI)	24
	3.2.4 Impact Assessment (LCIA)	25
	3.2.5 Interpretation	25
IV	**RESULTS AND DISCUSSION**	26
	4.1 Life Cycle Inventory (LCI)	26
	4.1.1 Cultivation	26
	4.1.2 Extraction	27
	4.1.3 Refining	28
	4.1.4 Microemulsion	29
	4.2 GHG Emission of Microemulsion Biofuel	34
	4.3 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	36
	4.3.1 Common Impacts Related to ME Biofuel Production	37
	4.3.2 Comparison of Environmental Impacts	48
	4.4 Sensitivity Analysis	50
	4.4.1 Sensitivity Analysis for GHG Emission	50
	4.4.2 Sensitivity Analysis for Environmental Impacts	51
V	**CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**	55

CHAPTER PAGE

REFERENCES 57

APPENDICES

Appendix A Characterization Data 61

Appendix B Normalization Data 75

Appendix C Inventory Data 89

Appendix D Inventory Data Calculation 94

CURRICULUM VITAE 116

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
3.1	Different scenarios of microemulsion biofuel production	23
4.1	Inventory data for cultivation stage (base case)	27
4.2	Inventory data for extraction stage (base case)	28
4.3	Inventory data for refining stage (base case)	29
4.4	Inventory data for Scenario I (base case)	30
4.5	Inventory data for Scenario II	31
4.6	Inventory data for Scenario III	32
4.7	Inventory data for Scenario IV	33
4.8	Comparison of the properties of ME biofuels and neat diesel	34
4.9	Designated methodologies for microemulsion biofuel production life cycle assessment under SimaPro v. 7.1	37

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
2.1	Structure of surfactant and micelle.	5
2.2	Biodiesel production from various feedstocks commonly used in the world.	8
2.3	Process flow diagram for oil palm cultivation.	10
2.4	Flow diagram of palm oil milling processes.	11
2.5	Flow diagrams of palm oil refining processes.	13
2.6	General methodological framework of LCA.	14
2.7	Environmental impacts of oil palm plantation.	18
2.8	Environmental impacts of palm oil milling.	19
2.9	Environmental impact assessment of microemulsion biofuel production.	20
2.10	Comparison of environmental impact generated from different biodiesel and conventional diesel.	21
3.1	The system boundary of microemulsion biofuel production from palm oil.	24
4.1	GHG emissions (kg of CO_2 eq.) per 39000 MJ of ME biofuel.	35
4.2	Comparison of the GHG emissions per 39000 MJ of ME biofuels.	36
4.3	GHG emissions based on 1 ton of ME biofuel.	38
4.4	Acidification potential based on 1 ton of ME biofuel.	39
4.5	Abiotic depletion potential based on 1 ton of ME biofuel.	40
4.6	Ozone layer depletion potential based on 1 ton of ME biofuel.	41
4.7	Human toxicity potential based on 1 ton of ME biofuel.	42
4.8	Photochemical oxidation potential based on 1 ton of ME biofuel.	43
4.9	Eutrophication potential based on 1 ton of ME biofuel.	44

FIGURE **PAGE**

4.10 Fresh water aquatic ecotoxicity potential based on 1 ton of ME biofuel. 45

4.11 Terrestrial ecotoxicity potential based on 1 ton of ME biofuel. 46

4.12 Marine aquatic ecotoxicity potential based on 1 ton of ME biofuel. 47

4.13 Land use potential based on 1 ton of ME biofuel. 48

4.14 Comparison of environmental impacts related to cultivation (base case), extraction (base case), refining (base case) and microemulsion (scenario IV). 49

4.15 Comparison of environmental impacts related to different ME formulation. 50

4.16 Comparison of GHG emissions with and without biogas capture. 51

4.17 Comparison of different bioethanol used in Scenario II (Biobase Case) for fresh water aquatic ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity and human toxicity impacts. 52

4.18 Comparison of different bioethanol used in Scenario II (Biobase Case) for (a) Marine aquatic ecotoxicity and (b) Eutrophication (Continue). 53

4.18 Comparison of different bioethanol used in Scenario II (Biobase Case) for (c) Land use change impact. 54