Dissertation Title	Sustainability Assessment of Biofuels in Thailand: Land Use
Dissertation Credits	42
Candidate	Mrs. Chongprode Kochaphum
Dissertation Advisors	Prof. Dr. Shabbir H. Gheewala
	Assoc. Prof. Dr. Soydoa Vinitnantharat
Program	Doctor of Philosophy
Field of Study	Environmental Tcehnology
Department	Environmental Tcehnology
Faculty	School of Energy, Environment and Materials
Academic year	2013

Abstract

This study has the objectives to 1) adapt tools for the assessment of the impact of biodiesel using oil palm as feedstock on land use change (LUC), 2) assess environmental impacts (Global Warming Potential; GWP and Abiotic Depletion Potential; ADP) of biodiesel chain including LUC by using Life Cycle Assessment approach 3) assess socio-economic impacts arising from biodiesel promotion and 4) assess sustainability of biodiesel due to government policy in increasing blending ratio of biodiesel (B100) in diesel using the adapted methodology. The biodiesel blending ratios of 2, 5 and 10 percent, namely B2, B5 and B10, respectively are studied with 21,000 ML per year as functional unit.

The tools adapted for assessing the impact of biodiesel on crops affected, percentage change in the converted crop area and prices are correlation analysis, multiple regression, and econometric modeling. The study revealed that coffee, rambutan and rice are the crops significantly affected by oil palm expansion. The percentages of area conversion for B2 are 2.12%, 7.88% and 0.28 % for coffee, rambutan and rice respectively. The increases in the prices of the converted crops for B2 are 12.67%, 7.54% and 10.84% for coffee, rambutan and rice, respectively. The percentage changes of the converted area and prices increase with increasing biodiesel blending ratio.

The GWP and ADP of 1 liter of biodiesel are 0.660 kg CO_2 eq. and 0.206 kg oil eq. whereas those of 1 L diesel are 2.808 kg CO_2 eq. and 0.923 kg oil eq. Based on the 2006

IPCC guidelines, the greenhouse gas emissions for the conversion of coffee, rambutan and rice to oil palm are -6.84 ton CO2 eq./ha-yr for coffee and rambutan, and -21.94 ton CO2 eq./ha-yr for rice. Thus when LUC is integrated into the calculations, the GWP of biodiesel is smaller than without LUC integration. As can be intuitively anticipated, there is no effect of LUC on ADP.

The socio-economic impacts cover positive impacts i.e. currency savings and increase in farmers' income due to higher price of oil palm, and negative impacts i.e. increase in food price represented by bottled palm oil, and biodiesel for energy. Compared to neat diesel, i.e. B0, the net socio-economic impact of B2 is better but B5 and B10 are worse. When LUC is integrated; the net socio-economic impacts of B5 and B10 become better than B0. This is due to the additional farmers' income from oil palm expanded area and the increase in price of the other crops (rambutan, coffee and rice) because of reduced supply due to conversion of part of them to oil palm.

The eco-efficiency (EE) of the various biodiesel blends is the indicator for the sustainability of the biodiesel promotion in Thailand. The performances of the biodiesel blends with LUC are better than those without LUC in terms of both economics and environment. The changes in GWP and ADP of B2 to B10 relative to B0 are positive and increasing whereas those in the net socio-economic impacts are also positive but the trend is decreasing. Among the studied socio-economic impacts, the major effect of the increasing net income of farmers would be on the increasing biodiesel price, mainly caused by the increasing oil palm price. When oil palm price is higher than any other crops price, in addition to rambutan, coffee and rice, it may cause area shift from other crops to oil palm resulting in EE change, i.e rubber which is a competitive to oil palm in terms of favourable weather and returns. Since the returns of oil palm plantation at B9 are slightly higher than that of rubber, it is recommended that B9 would be the optimal ratio under the study. In case the government requires B10 as targeted, it would be achieved positively by reducing oil palm price which in turn could be possible by increasing yield as well as efficiency of feedstock production.

Keywords: Biodiesel/ Land Use Change/ Abiotic Depletion Potential/ Global Warming Potential/ Socio-economic/ Eco - Efficiency.

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความยั่งยืนของเชื้อเพลิงชีวภาพในประเทศไทย : การใช้ที่ดิน
หน่วนกิต	42
ผู้เขียน	นางจงโปรด คชภูมิ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศ. ดร. แชบเบีย กีวาลา
	รศ. ดร. สร้อยดาว วินิจนันทรัตน์
หลักสูตร	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
สายวิชา	เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ 1) เพื่อปรับเครื่องมือให้เหมาะสมในการประเมินผลกระทบของไบโอดีเซลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 2) เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านศักยภาพทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) และศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรประเภทไม่มีชีวิต (ADP) ของไบโอดีเซลตลอดห่วงโซ่โดยรวมถึงการเปลี่ยนแปลงการใช่ที่ดิน 3) เพื่อประเมินผลกระทบด้านเศรษฐกิจ-สังคมของไบโอดีเซลตลอดห่วงโซ่โดยรวมถึงการเปลี่ยนแปลงการใช่ที่ดิน 4) เพื่อประเมินความยั่งยืนของไบโอดีเซลตามนโนบายของรัฐด้วยเครื่องมือที่ได้รับการปรับแล้ว ซึ่งแบ่งตามส่วนผสมของไบโอดีเซล คือ ร้อยละ 2, 5 และ 10 หรือที่เรียกว่า บี2 บี5 และบี 10 ในปริมาณ 21,100 ล้านลิตร ซึ่งเป็น Functional unit

เครื่องมือที่นำมาปรับเพื่อประเมินผลว่า พืชใดได้รับผลกระทบจากการขยายพื้นที่ของปาล์มน้ำมันและส่งผลให้ราคาของพืชที่ได้รับผลกระทบหรือถูกแทนทีเปลี่ยนแปลงอย่างไร ได้แก่ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation Analysis) การวิเคาระห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) และโมเดลทางเศรษฐมิติ (Econometric Model) ผลการศึกษาพบว่า กาแฟ เงาะ และข้าว เป็นพืชที่ได้รับผลกระทบจากการขยายพื้นที่ปาล์มน้ำมัน ทำให้พื้นที่ของพืชดังกล่าวลดลงร้อยละ 2.12, 7.88

และ 0.28 ตามลำดับ และส่งผลให้ราคาของพืชทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.67, 7.54 และ 10.84 ตามลำดับในการส่งเสริมไบโอดีเซลที่ระดับร้อยละ 2 และเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของไบโอดีเซลสูงขึ้น ศักยภาพทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) และศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรประเภทไม่มีชีวิต (ADP) ของน้ำมันไบโอดีเซล 1 ลิตร เท่ากับ 0.660 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าและ 0.206 กิโลกรัมน้ำมันเทียบเท่าในขณะที่ GWP และADP ของน้ำมันดีเซล 1 ลิตร เท่ากับ 2.808 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ และ 0.923 กิโลกรัมเทียบเท่าน้ำมัน สำหรับค่าปัจจัยการปล่อยสาร (Emission factor) ตามแนวทางของ IPCC ของการปลูกปาล์มน้ำมันแทนกาแฟและเงาะมีค่าเท่ากับ -6.84 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี และข้าวมีค่าเท่ากับ -21.94 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี ดังนั้น เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินร่วมด้วยทำให้ GWP น้อยกว่าเมื่อไม่พิจารณาการเปลี่ยนแลงที่ดิน และเนื่องจาก ADP อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเมื่อเทียบกับช่วงการผลิตไม่มีนัยสำคัญ จึงไม่มีการพิจารณา ADP เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

ผลกระทบด้านเศรษฐกิจ-สังคมครอบคลุมทั้งทางบวก อันได้แก่ การประหยัดเงินตราต่างประเทศและรายได้ของเกษตรกรเนื่องจากราคาผลปาล์มที่สูงขึ้น และทางลบ ได้แก่ ราคาอาหารที่สูงขึ้น ในที่นี่ใช้น้ำมันปาล์มขวดเป็นตัวแทน และราคาไบโอดีเซลที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบสุทธิด้านเศรษฐกิจ-สังคมกับการไม่มีไบโอดีเซล (บี0) พบว่า ไบโอดีเซลบี 2 ดีกว่า แต่กลับแย่ลงเมื่อเป็นไบโอดีเซลบี 5 และบี 10 และเมื่อนำผลกระทบด้านเศรษฐกิจ-สังคมจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมาร่วมด้วยพบว่า ผลกระทบสุทธิด้านเศรษฐกิจ-สังคมของไบโอดีเซลบี 5 และบี 10 กลายเป็นดีกว่า บี 0 เพราะรายได้ของเกษตรกรที่เพิ่มขึ้นจากพื้นที่ปาล์มที่เพิ่มขึ้นและจากราคาพืชที่ถูกแทนที่ (เงาะ กาแฟ และข้าว) มีราคาสูงขึ้นเพราะอุปทานลดลง

สำหรับตัวชี้วัดความยั่งยืน การศึกษานี่ใช้ดัชนีประสิทธิผลเชิงนิเวศ (Eco-efficiency: EE) ซึ่งพบว่าผลการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง GWP และ ADP ของไบโอดีเซลเมื่อเทียบกับดีเซลมีค่าเป็นบวกและสูงขึ้นเมื่อส่วนผสมของไบโอดีเซลสูงขึ้น ในขณะที่ผลการดำเนินการสุทธิด้านเศรษฐกิจ-สังคมของไบโอดีเซลเมื่อเทียบกับดีเซลมีค่าเป็นบวกเช่นกัน แต่ลดลงเมื่อส่วนผสมของไบโอดีเซลสูงขึ้น ทั้งนี้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเศรษญกิจ-สังคมสุทธิ ได้แก่ ราคาไบโอดีเซล อันเป็นผลมาจากราคาผลปาล์มที่สูงขึ้นเมื่อส่วนผสมมากขึ้น จากการเพิ่มขึ้นของราคาปาล์มนี้อาจส่งผลให้พืชอื่นนอกเหนือจากเงาะ กาแฟ และข้าว หันมาปลูกปาล์มเพิ่มขึ้นอันอาจส่งผลให้ประสิทธิผลเชิงนิเวศเปลี่ยนแปลงไป

ตัวอย่างเช่น ยางพารา ซึ่งถือว่าเป็นพืชแข่งขันสำหรับปาล์มด้วยเป็นพืชที่ชอบภูมิอากาศแบบเดียวกัน และมีราคาค่อนข้างสูงเหมือนกันเมื่อเทียบกับพืชอื่นในภาคเดียวกัน เนื่องจากที่สัดส่วนไบโอดีเซลร้อยละ 9 จะทำให้ราคาผลปาล์มสูงกว่าราคายางเล็กน้อย อาจทำให้เกษตรกรสวนยางหันมาปลูกปาล์มได้ จึงแนะนำให้มีการส่งเสริมไบโอดีเซลที่ร้อยละ 9 แต่หารัฐยังต้องการส่งเสริมไบโอดีเซลถึงระดับร้อยละ 10 ควรทำให้ราคาผลปาล์มลดลงโดยที่เกษตรกรยังมีรายได้สูงด้วยการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ (Yield) และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปาล์มเพื่อลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน/ความยั่งยืน/ไบโอดีเซล/ประสิทธิผลเชิงนิเวศ/ศักยภาพทำให้โลกร้อน/ศักยภาพทำให้ทรัพยากรร่อยหรอ

ACKNOWLEDGEMENT

I am indebted to a large number of people who helped me in numerous ways during my course work and the preparation of this dissertation: Prof. Dr. Shabbir H. Gheewala, my advisor, for his valuable supervision, encouragement, understanding and support throughout my study; Assoc. Prof. Dr. Soydoa Vinitnantharat, my co-advisor, for her advice, encouragement and support; Dr. Masayuki Sagisaka, Dr. Kittinan Annanon, my committee members, and Assoc. Prof. Dr.Thumrongrut Mungcharoen, my external examiner for their constructive comments in improving my work.

I am grateful to the executives of the Bangchak Petroleum Plc. (BCP), Dr. Anusorn Saengnimnuan, Mr. Vichien Usanachote, Mr. Wattana Opanonamata, Mr. Yodphot Wongrukmit, and Mrs. Chavewan Kitechokchaikul for their kindness in allowing me to study, their encouragement and support, the BCP's engineers who provided me the data and all staff of the Environment and Community Relation Division, my staff, who did their jobs so well that I can have time to study.

I would like to express my sincere thank to Asst. Prof. Dr. Pattarasinee Patarakosol, Chulalongkorn University, Dr. Aerwadee Premashthira, Kasetsart University, who gave me knowledge, valuable suggestion in statistics and agricultural economics, respectively, to Mr. Aisune Pasayawan, Mr. Anekpracha Kaewmanee, Dr. Nuttakritta Sirisobhon for their helps, and the people from the Department of Agricultural Economic, Ms. Arunya Sriwiroj, Bank of Thailand, Mr. Seksan Papong, MTEC, Mr. Chayos Suwanpahu from Vichitbhan Palmoil Co.Ltd., Mr. Sawang Lertthirasoonthorn from Lamsoon (Thailand) Plc., Assoc. Prof. Dr. Somporn Pleanjai, Dr. Thapat Silalertruksa for their research and data.

Many thanks are also extended to Khunying Prajit Gumbhu, my friends, my classmate, Dr. Orachon Chimjarn, Dr. Nittaya Pasukphun for their support, finally, my deepest gratitude to my beloved husband and son, Mr. Sivapong and Mr. Sirote Kochaphum, respectively, for their understanding, encouragement and moral support.

CONTENTS

	PAGE
ENGLISH ABSTRACT	i
THAI ABSTRACT	iii
ACKNOWLEDGEMENTS	vi
CONTENTS	vii
LIST OF TABLES	ix
LIST OF FIGURES	x
LIST OF TECHNICAL VOCABULARY AND ABBREVIATIONS	xi
CHAPTER	
1. INTRODUCTION	**1**
1.1 Problem Statement	1
1.2 Objectives	3
1.3 Organization of this dissertation	3
2. RELATED WORK AND THEORETICAL ISSUE	**5**
2.1 Biodiesel	5
2.2 Life cycle assessment	8
2.3 Environmental impacts	13
2.4 Land use change	14
2.5 Socio - economic impacts	16
2.6 Sustainability assessment	18
3. METHODOLOGY	**20**
3.1 Phase 1: Impacts on land use change	20
3.2 Phase 2: Environmental impact assessment	24
3.3 Phase 3: Socio – economic impact assessment	27
3.4 Phase 4: Sustainability assessment	35
4. RESULTS AND DISCUSSION	**37**
4.1 Biodiesel production system	37
4.2 Petroleum production system	43
4.3 Biodiesel blending and transport	48
4.4 Land use change assessment	50
4.5 Environmental impact assessment	57
4.6 Socio-economic impact assessment	59
4.7 Sustainability assessment	65
5. CONCLUSIONS AND Future WORK	**68**
5.1 Conclusion	68
5.2 Future Work	70
REFERENCES	**72**
APPENDIX	**83**
A Provinces in each region	83
B Area correlation	84
C Land use change analysis	88

D Emission from land use change 97
E Socio –economic analysis 99

CURRICULUM VITAE **110**

LIST OF TABLES

TABLES		PAGE
3.1	Information sources	25
4.1	Oil palm (FFB) transport	38
4.2	Electricity used by activity from 1 MW produced in Palm Oil Mill	42
4.3	CPO transport	42
4.4	Fuel consumption for B100 transport	43
4.5	Inputs and outputs in crude oil production 1 kg	44
4.6	Mode of crude transportation	45
4.7	Crude oil transport	45
4.8	Fuel prices for allocation	48
4.9	Energy consumption (MJ) per liter of different types of diesel	48
4.10	Emission factors of energy carriers	49
4.11	Biodiesel transport	49
4.12	Fuel economy, heating value and density of biodiesel blends	49
4.13	Tailpipe emissions from light duty truck for various biodiesel blends	50
4.14	Symbols of variables for land use change assessment	53
4.15	Elasticity and statistics of area change by region	54
4.16	Elasticity and statistics of crop price change	54
4.17	Percentage change in area and price by biodiesel blending ratio	56
4.18	Environmental impacts per liter of diesel and biodiesel	57
4.19	Environmental impacts of biodiesel blends per functional unit	58
4.20	GWP emission factors of land use change	59
4.21	Total GWP of biodiesel blends	59
4.22	Symbols of variables for socio-economic assessment	61
4.23	Estimated prices of palm oil associated products	61
4.24	Net socio-economic impacts without land use change	62
4.25	Total socio-economic impacts (with LUC) of biodiesel blends	64
4.26	SEI, GWP and ADP of biodiesel blends	64

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
1.1	Crude oil import	2
2.1	Basic biodiesel production process	5
2.2	Transesterification reaction	6
2.3	Petroleum refining process	7
2.4	LCA framework	8
2.5	Life cycle assessment	11
2.6	Average emission impacts of biodiesel for heavy-duty highway engines	14
3.1	System boundaries for diesel and biodiesel	20
3.2	Framework of LUC equation system	22
3.3	Schematic diagram of biodiesel associated market under study	29
3.4	Framework of price estimation equation system	32
4.1	Exchanges for oil palm cultivation	38
4.2	Flow diagram of palm oil mill	40
4.3	Mass allocated exchanges for CPO production	41
4.4	Biodiesel production process	42
4.5	Mass allocated exchanges for biodiesel production	43
4.6	Heating value allocated exchanges for diesel production	46
4.7	Return by crop	51
4.8	Yield of coffee by region	55
4.9	Yield of rambutan by region	55
4.10	Yield of rice by region	55
4.11	Sensitivity analysis of factors to net socio-economic impact	64
4.12	Eco-efficiency without and with of biodiesel blends (GWP)	66
4.13	Eco-efficiency without and with of biodiesel blends (ADP)	66
4.14	Change in GWP and ADP of Bi relative to B0	67
4.15	Change in net socio-economic impact of Bi relative to B0	67

LIST OF TECHNICAL VOCABULARY AND ABBREVIATIONS

ADP	Abiotic resource Depletion Potential
ADU	Atmospheric Distillation Unit
AEDP	Alternative and Renewable Development Plan
AFOLU	Agriculture, Forestry and Other Land Use
API	American Petroleum Institute
AR	Atmospheric Residue
ASTM	American Society for Testing and Materials
B	Biomass
Bi	Biodiesel i %
B0	neat diesel
B2	Biodiesel 2 %
B5	Biodiesel 5 %
B10	Biodiesel 10 %
B100	Biodiesel 100 % or neat biodiesel
BBL	Barrel
BCP	The Bangchak Petroleum Plc.
BKK	Bangkok
BOD	Biooxygen demand
BPI	Bang – Pa - In
BPO	Bottled Palm Oil
Br	Blending ratio
Btu	British thermal unit
C	Carbon
^{o}C	Degree celcius
cc	cubic centimeter
C- HSD	Cracked High Speed Diesel
Cd	cadmium
CDM	Clean Development Mechanism
CF	Conversion factor
CFC	Chlorofluorocarbon
CGE	Computable General Equilibrium
CH_4	Methane
CHP	Co-generation Plant
CIMMYT	The International Maize and Wheat Improvement Center
CML	Institute of Environmental Sciences
CO	Carbon monoxide
CO_2	Carbon dioxide
COD	Chemical Oxygen Demand
CPO	Crude Palm oil
CS	Currency Saving
C_2H_4	ethylene
DEDE	Department of Alternative Energy Development and Efficiency
DIT	Department of Internal Trade
dLUC	direct Land Use Change
DOA	Department of Agriculture
DOE	Department of Agricultural Economic
DOEB	Department of Energy Business
DOM	Dead organic matter

LIST OF TECHNICAL VOCABULARY AND ABBREVIATIONS (Cont.)

DW	Durbin Watson statistic
EE	Eco-Efficiency
EFB	Empty Fruit Bunches
EI	Environmental Impact Function
ENCON	Energy Conservation Funds
EPMC	Energy Policy Management Committee
EPPO	Energy Policy and Planning Office
eq	equivalent
ERIA	Economic Research Institute Asia for Asean and East Asia
ESCAP	Economic and Social Commission for Asia and the Pacific
ETH	Swiss Federal Institute of Technology
exP	Ex-refinery price
FAME	Fatty Acid Methyl Ester
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FFA	Free Fatty Acids
FFB	Fresh fruit bunches
FG	Fuel Gas
FGTU	Fuel Gas Treating Unit
FI	Farmer Income
FO	Fuel Oil
g	gram
GDP	Gross domestic product
GHGs	Greenhouse Gases
GJ	Giga Joules
GMS	Greater Mekong Sub-region
GO-HDSU	Gas Oil – Hydrodesulfurization Unit
GW	Global warming
GWP	Global Warming Potential
H_2	Hydrogen
ha	hectare
HC	Hydrocarbon
HCl	Hydrochloric acid
HCU	Hydro Cracking Unit
HSD	High speed diesel
HDTU	Hydrotreating Unit
HHV	High Heating Value
HPU	Hydrogen Production Unit
H_2S	Hydrogen Sulfide
ICRISAT	The International Crops Research Institute for the Semi-Arid-Tropics
IRRI	International Rice Research Institute
ILUC	Imapct of land use
IMF	International Monetary Fund
IPCC	Intergovernmental Panel for Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
K	potassium
KAPI	Kasetsart Agricultural and Agro-industrial Product Improvement Institute
kg	kilogram

LIST OF TECHNICAL VOCABULARY AND ABBREVIATIONS (Cont.)

km	kilometer
km/L	kilometer per liter
kW	kilowatt
kWh	kilowatt - hour
K_2O	Potassium Oxide
L	Liter
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Cost
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
LPG	Liquefied Petroleum Gas
LUC	Land Use Change
m^3	cubic meters
MCF	Methane Conversion Factor
MEA	Metropolitan Electricity Authority
MeOH	Methanol
Min.	Minute
Mg	Mega gram
mg	milligram
MJ	Mega Joules
ML	Million liters
MM	Marketing Margin
mm	millimeter
MW	Mega Watt
N	Nitrogen
NaOH	Sodium Hydroxide
NaC1	Sodium Chloride
Na_2CO_3	Sodiun Carbonate
NESDB	National Economic and Social Development Board
N_2O	Nitrous oxide
NO_x	Nitrogen oxide
OAE	Office of Agricultural Economics
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OIE	Office of Industrial Economics
OLS	Ordinary Least Square
P	phosphorus
Pb	Lead
PDR	People's Democratic Republic
PKO	Palm kernel oil
PM	Particulate Matter
PO	Photooxidant
POME	Palm oil mill effluent
PO_4^{3-}	phosphate
P_2O_5	Phosphorous Pentoxide
PSA	Pressure Swing Adsorption
PTT	PTT Plc.
RBD	Refined bleached and deodorized
RC	Resource consumption

LIST OF TECHNICAL VOCABULARY AND ABBREVIATIONS (Cont.)

RED	EU Renewable Energy Directive
REDP	Renewable Energy Development Plan
RTG	Royal Thai Government
S- HSD	Straight run High Speed Diesel
S/S	Service Station
Sb	Antimony
SBO	Soybean oil
SEI	Socio-Economic Impacts
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SF_6	Sulfur hexafluoride
SOC	soil organic carbon
SO_2	Sulfur dioxide
SP	Stated Preference
SPV	special purpose vehicle
SRT	Sriracha Terminal
SSF	Simultaneous Saccharification and Fermentation
ST	Palm oil stearin
SWSU	Sour Water Stripping Unit
t	ton
THB	Thai Baht (currency unit)
TJ	Tera Joules
Total N	Total nitrogen
Total P	Total phosphorus
TSP	Total Suspended Particulate
UN	United Nations
US.	United States
USA	United States of America
USD	US dollar (currency unit)
USDA	United States Department of Agriculture
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VAT	Value Added Tax
VDU	Vacuum Distillation Unit
VOC	Volatile Organic Compound
VR	Vacuum Residue
wt	weight
Yr	Year