A STUDY OF BIODIESEL AS AN ADDITIVE FOR DIESOHOL IN THAILAND

Prommes Kwanchareon

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment 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
2006

ISBN 974-9937-49-x

Thesis Title:	A Study of Biodiesel as an Additive for Diesohol in Thailand
By:	Prommes Kwanchareon
Program:	Petroleum Technology
Thesis Advisors:	Asst. Prof. Apanee Luengnaruemitchai
	Captain Dr. Samai Jai-In

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

Nantaya Yanumet ..... College Director

(Assoc. Prof. Nantaya Yanumet)

Thesis Committee:

Apanee L .....

(Asst. Prof. Apanee Luengnaruemitchai)

Samai Jai-In .....

(Captain Dr. Samai Jai-In)

Pramoch R. .....

(Assoc. Prof. Pramoch Rangsunvigit)

S. K. .....

(Dr. Sarawut Kaewtathip)

490406

ABSTRACT

4773011063: Petroleum Technology Program
Prommes Kwanchareon: A study of biodiesel as an additive for diesohol in Thailand
Thesis Advisors: Asst. Prof. Apanee Luengnaruemitchai, Captain Dr. Samai Jai-In, 61 pp. ISBN 974-9937-49-x
Keywords: Diesohol / Diesel / Ethanol / Biodiesel / Additive

Diesel engines are widely used as the power sources for in-land and marine transportation and industrial power plants. However, recent rising in oil price at the beginning of 2004, reminds many countries including Thailand of how vulnerable they are on the energy issue. Thailand, the net importer of crude oil, has been searching for local renewable energy. Diesohol (the mixture of diesel, ethanol and an additive) could be the latest alternative fuels for diesel substitution. In addition, the use of ethanol in conventional diesel also significantly lowers polluting emissions from the use of diesel. On the other hand, the major drawback in diesohol is that ethanol is immiscible in diesel over a wide range of temperatures. Beside the problem of phase stability, the presence of ethanol notably reduces cetane number, flashpoint as well as viscosity. To overcome these problems, biodiesel is considered as an additive to improve stability and fuel properties of diesel-ethanol blend. Therefore, the objective of this research work is focused on studying the use of biodiesel (palm oil methyl ester) as an additive in stabilizing ethanol in diesel. The physical state diagram of diesel-ethanol-biodiesel components at different temperatures (10-40 °C) was developed. Moreover, the fuel properties such as cetane index, density, heat of combustion, flash point, pour point, and emissions of diesohol were investigated and compared with those of conventional diesel.

บทคัดย่อ

พรหมเมศร์ ขวัญเจริญ: การศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเป็นสารเติมแต่งสำหรับดีโซฮอล์ในประเทศไทย (A Study of Biodiesel as an Additive for Diesohol in Thailand) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย และ นาวาเอก ดร.สมัย ใจอินทร์ 61 หน้า ISBN 974-9937-49-x

เครื่องยนต์ดีเซลถูกใช้อย่างแพร่หลาย เพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนทั้งในการขนส่งทางบก ทางทะเล และใช้ในโรงผลิตกระแสไฟฟ้าสาหรับภาคอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ราคาน้ำมันที่สูงขึ้นเมื่อต้นปี ค.ศ. 2004 ที่ผ่านมานี้ ทำให้หลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย ได้ตระหนักถึงความผันผวนของสถานการณ์พลังงานที่ส่งผลกระทบต่อประเทศ ประเทศไทยในฐานะที่เป็นประเทศผู้นำเข้าน้ำมันดิบ ได้ส่งเสริมให้มีการค้นคว้าและวิจัยเพื่อพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนขึ้นมาใช้ภายในประเทศ ดีโซฮอล์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซล เอทานอล และสารเติมแต่ง สามารถเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกหนึ่งในการทดแทนน้ำมันดีเซล นอกจากนั้นการใช้เอทานอลผสมในน้ำมันดีเซลโดยทั่วไป ยังสามารถลดมลภาวะจากการใช้น้ำมันดีเซลได้อีกด้วย ในทางกลับกัน ปัญหาหลักจากการใช้ดีโซฮอล์ คือ เอทานอลไม่สามารถละลายเข้ากับน้ำมันดีเซลได้ในทุกช่วงของอุณหภูมิ นอกจากปัญหาเรื่องเสถียรภาพของสภาวะที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว การที่มีเอทานอลอยู่ในเชื้อเพลิง ยังมีผลในการลดค่าซีเทนนัมเบอร์ จุดวาบไฟ และค่าความหนืด เพื่อเอาชนะปัญหาเหล่านี้ ไบโอดีเซลจึงถูกพิจารณาเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งในการปรับปรุงเสถียรภาพและคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซลและเอทานอล ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงมุ่งไปที่การศึกษาการใช้ไบโอดีเซล (ปาล์มออยล์ เมททิลเอสเทอร์) เพื่อเป็นสารเติมแต่งในการรักษาเสถียรภาพของเอทานอลในน้ำมันดีเซลไม่ให้มีการแยกชั้น และสร้างแผนภาพสถานะทางกายภาพของสารผสมระหว่างดีเซล เอทานอล และไบโอดีเซล ที่อุณหภูมิต่างๆ(10-40°C) นอกจากนั้น มีการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงต่างๆ เช่น ดัชนีค่าซีเทน ค่าความหนาแน่น ค่าความความร้อนจากการเผาไหม้ จุดวาบไฟ จุดไหลเท และค่ามลภาวะจากการเผาไหม้ของดีโซฮอล์ กับน้ำมันดีเซลโดยทั่วไป

ACKNOWLEDGEMENTS

This thesis could not have been achieved without my advisor, Asst. Prof. Apanee Luengnaruemitchai, who gave intensive suggestions, useful guidance, laboratory skills, constant encouragement, and vital helps throughout this research work. I also would like to give a great appreciation to my co-advisor, Captain Dr. Samai Jai-In for providing useful recommendations and creative cominents throughout this research.

I would like to extend my thanks to Rayong Purifier Public Co.,Ltd., the Royal Chitralada Projects, and also Lieutenant-Commander Chalum Somapha, Chief Petty Officer Teerachai Fuenggade, Technician Arcom Sangngern and Technician Jumnong Sermsup from the Department of Naval Dockyards for their comments and supports in this project.

Finally, the author would like to take this opportunity to thank all PPC friends for their friendly assistance, cheerfulness, creative suggestions, and encouragement. The author had the most enjoyable time working with all of them. Also, the author is greatly indebted to my parents and my family for their support, love and understanding.

This thesis work is partially funded by Postgraduate Education and Research Programs in Petroleum and Petrochemical Technology (PPT Consortium) and Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy Royal, Thai Government.

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	**BACKGROUND AND LITERATURE SURVEY**	4
	2.1 Diesel	4
	2.2 Ethanol	6
	2.3 Biodiesel	7
	2.3.1 Biodiesel Raw Materials	8
	2.3.2 Biodiesel Fuel Properties	11
	2.3.3 Biodiesel Production	12
	2.4 Diesohol	16
	2.4.1 Solubility of Ethanol in Diesel	16
	2.4.2 Emulsifiers/Additives	17
	2.4.3 Ethanol/Diesel Blend Properties	19
	2.4.3.1 Flash Point & Flammability of Vapor	19
	2.4.3.2 Cold Flow	19
	2.4.3.3 Cetane Index / Cetane Number	19
	2.4.3.4 Energy Content	20
	2.4.3.5 Emissions	20
	2.4.3.6 Materials Compatibility	20

CHAPTER		PAGE
III	**EXPERIMENTAL**	24
	3.1 Materials and Equipment	24
	3.1.1 Chemicals	24
	3.1.2 Equipment	24
	3.2 Experimental	24
	3.2.1 Splash-Blending	24
	3.2.2 Fuel Properties Testing	25
	3.2.2.1 Density at 15 °C	25
	3.2.2.2 Cetane Index	26
	3.2.2.3 Heat of Combustion	26
	3.2.2.4 Pour Point	27
	3.2.2.5 Flash Point	27
	3.2.3 Emissions Testing	27
IV	**RESULTS AND DISCUSSION**	30
	4.1 Effect of Ethanol Concentration on Phase Stability	30
	4.1.1 Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol 95% System at Room Temperature	30
	4.1.2 Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol 99.5% System at Room Temperature	31
	4.1.3 Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol 99.9% System at Room Temperature	31
	4.2 Effect of Temperature on Phase Stability	33
	4.2.1 Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol 99.5% System at 10°C	33
	4.2.2 Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol 99.5% System at 20°C	34
	4.2.3 Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol 99.5% System at 30°C	34

CHAPTER PAGE

IV 4.2.4 Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol 99.5% System at 40°C 34

4.2.5 Long Term Stability of Diesel-Biodiesel-Ethanol99.5% System at Room Temperature 34

4.3 Fuel Properties Testing 37

4.3.1 Density at 15 °C 37

4.3.2 Cetane Index 38

4.3.3 Heat of Combustion 39

4.3.4 Pour Point 40

4.3.5 Flash Point 41

4.4 Emissions Testing 42

4.4.1 CO Emissions 42

4.4.2 HC Emissions 44

4.4.3 NO_X Emissions 46

4.4.4 Fuel Consumption Rates 49

V **CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**

5.1 Conclusions 51

5.2 Recommendations 52

REFERENCES 53

APPENDICES 56

Appendix A Property of Biodiesel 56

Appendix B Fuel Property Testing Results 57

Appendix C Emission Testing Results and Fuel Consumption Rates 58

Appendix D Specification for Diesel Fuel 60

CURRICULUM VITAE 61

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
2.1	Requirements for diesel fuel oils (ASTM D 975-97)	5
2.2	Comparison of ethanol yields (by volume) from various raw materials	7
2.3	Production of biofuels in Thailand (unit: thousand tons)	9
2.4	World major producers of palm oil	9
2.5	Properties and compositions of fatty acids in biofuels	10
2.6	Properties and heating value of biofuels varieties, compared with diesel	11
2.7	Requirements and test methods of fatty acid methyl esters (FAME) according to BS EN 14214:2003	14
2.8	Biodiesel standard according to ASTM D 6751	15
2.9	Properties of biodiesel from indigenous oils in Thailand	15
2.10	Emulsifier manufacturers and blending levels (percent by volume) non exhaustive	18
2.11	Lower heating value of ethanol, diesel, and theoretical ethanol- diesel blends	20
3.1	Component ratio of the sample for fuel property testing	25
3.2	Engine specifications	28

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
2.1	Transesterification of triglycerides and methanol results in methyl ester – the desired biodiesel fuel – with glycerol as the by-product	12
3.1	The diesel generator model DG3LE	29
3.2	The Motorscan Eurogas 8020 emissions analyzer	29
4.1	Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol95% (D-B-E95%) System at Room Temperature	32
4.2	Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol99.5% (D-B-E99.5%) System at Room Temperature	32
4.3	Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol99.9% (D-B-E99.9%) System at Room Temperature	33
4.4	Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol99.5% (D-B-E99.5%) System at 10°C	35
4.5	Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol99.5% (D-B-E99.5%) System at 20°C	35
4.6	Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol99.5% (D-B-E99.5%) System at 30°C	36
4.7	Phase Behavior of Diesel-Biodiesel-Ethanol99.5% (D-B-E99.5%) System at 40°C	36
4.8	Long Term Stability of Diesel-Biodiesel-Ethanol99.5% (D-B-E99.5%) System at Room Temperature	37
4.9	Density of diesohol emulsion at different ratios of diesel, biodiesel and ethanol	38
4.10	Cetane index of diesohol emulsion at different ratios of diesel and biodiesel	39
4.11	Heat of combustion of diesohol emulsion at different ratios of diesel, biodiesel and ethanol	40

FIGURE **PAGE**

4.12	Pour point of diesohol emulsion at different ratios of diesel, biodiesel and ethanol	41
4.13	Flash point of diesohol emulsion at different ratios of diesel, biodiesel and ethanol	42
4.14	CO emission of diesohol emulsions at 90% diesel proportion at different loads	43
4.15	CO emission of diesohol emulsions at 85% diesel proportion at different loads	43
4.16	CO emission of diesohol emulsions at 80% diesel proportion at different loads	44
4.17	HC emission of diesohol emulsions at 90% diesel proportion at different loads	45
4.18	HC emission of diesohol emulsions at 85% diesel proportion at different loads	45
4.19	HC emission of diesohol emulsions at 80% diesel proportion at different loads	46
4.20	NO_X emission of diesohol emulsions at 90% diesel proportion at different loads	47
4.21	NO_X emission of diesohol emulsions at 85% diesel proportion at different loads	48
4.22	NO_X emission of diesohol emulsions at 80% diesel proportion at different loads	48
4.23	Fuel consumption rate of diesohol emulsions at 90% diesel proportion at different loads	49
4.24	Fuel consumption rate of diesohol emulsions at 85% diesel proportion at different loads	50
4.25	Fuel consumption rate of diesohol emulsions at 80% diesel proportion at different loads	50