ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF COW MANURE MANAGEMENT

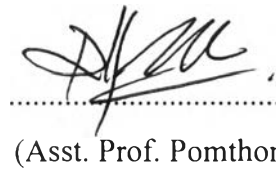
Pairote Longka

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
2014

I 28370272

Thesis Title:	Environmental Impact Assessment of Cow Manure Management
By:	Pairote Longka
Program:	Petrochemical Technology
Thesis Advisors:	Asst. Prof. Pomthong Malakul
	Assoc. Prof. Dong-shik Kim

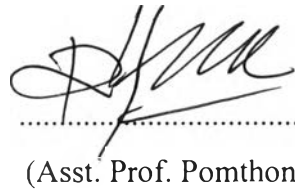
Accepted by The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Science.



..... College Dean

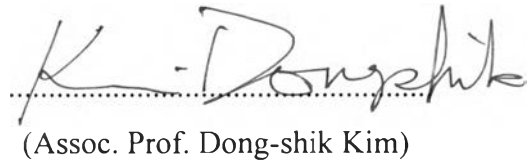
(Asst. Prof. Pomthong Malakul)

Thesis Committee:



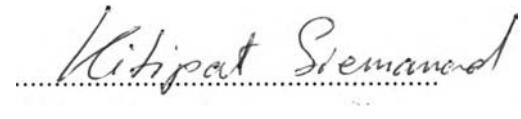
.....

(Asst. Prof. Pomthong Malakul)



.....

(Assoc. Prof. Dong-shik Kim)



.....

(Asst. Prof. Kitipat Siemanond)

.....

(Assoc. Prof. Thumrongrut Mungcharoen)

ABSTRACT

5571041063: Petrochemical Technology Program
Pairote Longka: Environmental Impact Assessment of Cow Manure Management.
Thesis Advisors: Asst. Prof. Pomthong Malakul, and Assoc. Prof. Dong-Shik Kim 62 pp.
Keywords: Life cycle assessment/ Manure management/ Anaerobic digestion/ Holding pond/ Superheated steam drying/ Global warming potential/ Acidification potential

Run-off water of agricultural animal wastes from lagoons and direct field applications is a cause of serious contamination in drinking water resources. In this research, highly energy-efficient superheated steam drying (SSD) technology was used to improve the existing manure management methods, such as an open-pond, and anaerobic digestion, that require storages or lagoons due to the long processing time for treatment. The SSD process was incorporated with fly ash, mixing it with cow manure during drying to produce biosolids that can be burned to generate energy. Life Cycle Assessment (LCA) was used in order to quantify the environmental impacts of the SSD process. Environmental impacts of other manure management methods were also analysed using LCA. The assessment results for the existing manure management technologies were compared with the proposed SSD process. The functional unit was defined as the management of cow manure waste of 347 cattle for one year. Each scenario was simulated using Gabi 5 software program. The system boundary covered two stages of manure collecting and three stages of manure treating processes. The global warming potential (GWP) of scenario 3B had the lowest GWP (322,079.19 kg CO_2-Equiv). For acidification potentials (AP) of the scenarios, scenario 3B showed the lowest AP (9,397.58 kg SO_2-Equiv). The result demonstrated that the proposed process design can reduce GWP and AP compared to the other processes.

บทคัดย่อ

ไพโรจน์ ลงกา : การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการจัดการมูลวัว (Environmental Impact Assessment of Cow Manure Management) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา และ รศ.ดร. ดองชิก คิม 62 หน้า

การรั่วไหลของของเสียจากภาคการเกษตร และภาคปศุสัตว์ จาก บ่อพัก และลานตาก ของการกำจัดของเสีย เป็นสาเหตุของการปนเปื้อนที่ร้ายแรงในแหล่งน้ำดื่ม ในงานวิจัยนี้ ได้นำเอาเทคโนโลยีการประหยัดพลังงานของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด (SSD) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งจะเป็นการปรับปรุงวิธีการจัดการของเสียจากมูลสัตว์แบบเดิมที่มีอยู่ เช่น บ่อพัก และการย่อยอาหารของแบคทีเรีย แบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีบ่อพักขนาดใหญ่ และใช้เวลาในการกำจัดที่ยาวนาน เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดได้ถูกนำมาใช้ โดยการรวมกันของ เถ้าลอย และ มูลวัว เพื่อที่จะผลิต มูลวัวอบแห้ง (biosolids) ซึ่งสามารถนำไปเผาไหม้ เพื่อผลิตเป็นพลังงานและนำไปใช้ต่อไป การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ถูกนำมาใช้เพื่อที่จะประเมินผลกระทบของกระบวนการจัดการของเสียจากมูลวัวที่มีต่อสิ่งแวดล้อมโดยจะนำผลของการวิเคราะห์ของกระบวนการอบแห้ง ด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด มาเปรียบเทียบกับวิธีการกำจัดของเสียที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยหน่วยการทำงานของการประเมิน (functional unit) ได้ถูกกำหนดเป็นการกำจัดของเสียจากมูลวัว 347 ตัวเป็นเวลา 1 ปี โดยในแต่ละโครงการจะได้รับการออกแบบจำลองด้วยซอฟแวร์ (Gabi 5) ขอบเขตระบบของการครอบคุมจะรวมถึง การจัดเก็บมูลวัว 2 วิธี และขั้นตอนการจัดการของเสีย 3 วิธี โดยโครงการ 3B ให้ผลประเมินออกมาต่ำที่สุด ในแง่ของภาวะโลกร้อน (GWP) และ ภาวะในการก่อให้เกิดภาวะฝนกรด (AP) โดยผลประเมินมีดังต่อไปนี้ ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ประมาณ 322,079.19 kg CO_2-equivalent และ ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะฝนกรด ประมาณ 9,397.58 kg SO_2-equivalent ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมิน แสดงให้เห็นว่าการออกแบบกระบวนการที่นำเสนอสามารถลดค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน และค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะฝนกรดเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ

ACKNOWLEDGEMENTS

This thesis could not have been successfully completed without the great kindness and support from a number of people.

I would like to gratefully acknowledge the enthusiastic supervision of my thesis advisors, Asst. Prof. Pomthong Malakul, Assoc. Prof. Defne Apul, and Assoc. Prof. Dong-Shik Kim, for providing valuable recommendations, creative comments, guidance and advice during my master thesis.

I would also like to convey thanks to Asst. Prof. Kitipat Siemanond, and Assoc. Prof. Thumrongrut Mungcharoen who served as my thesis committee. Special thanks also go to graduate student researchers, Mr. Jay Devkota and Ms. Chirjiv Anand at the University of Toledo for their tremendous support and help. They helped me have the best experience while I was staying in the United States.

I am also thankful to Department of Chemical and Environmental Engineering, The University of Toledo, Ohio, USA for helping me with my research and for providing software program. Without its support, this thesis work would not have been possibly completed.

I am especially thankful to my parents for their support, encouragement and suggestion to me. Thanks to them, I have been able to achieve my goals. They are always supportive and accompanying with me. I would also like to thank my thesis group friends who suggested and helped with my research work.

I am grateful for the scholarship and funding of the thesis work provided by The Petroleum and Petrochemical College; and The National Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials, Thailand. In addition, this work was supported by Department of Chemical and Environmental Engineering, The University of Toledo, Ohio, USA and US EPA.

TABLE OF CONTENTS

		PAGE
Title Page		i
Abstract (in English)		iii
Abstract (in Thai)		iv
Acknowledgements		v
Table of Contents		vi
List of Tables		viii
List of Figures		ix
Abbreviations		xi
CHAPTER		
I	**INTRODUCTION**	1
II	**LITERATURE REVIEW**	3
	2.1 Background and Problem Definition	3
	2.2 Green House Gas Emissions in U.S.	5
	2.3 Manure Characteristics and Collections	6
	2.3.1 Manure Characteristics	6
	2.3.2 Type of Manure	7
	2.3.3 Dairy Collections	8
	2.4 Dairy Manure Management	9
	2.4.1 Earthen Storage	9
	2.4.2 Anaerobic Digestions	9
	2.4.3 Superheated Steam Drying	13
	2.5 Life Cycle Assessment	14
	2.5.1 The History and definition of LCA	14
	2.5.2 Overview of LCA	16
	2.6 Gabi Overview	19

CHAPTER		PAGE
	2.7 Literature Review	19
III	**EXPERIMENTAL**	22
	3.1 Materials and Equipment	22
	3.1.1 Equipment	22
	3.1.2 Software	22
	3.2 Methodology	22
	3.2.1 Literature Survey	22
	3.3.2 Life Cycle Assessment (LCA)	22
IV	**RESULTS AND DISCUSSION**	25
	4.1 Description of Diary Manure Management Scenarios	25
	4.2 Life Cycle Inventory	30
	4.3 Life Cycle Impact Assessment	32
	4.3.1 Global Warming Potential for Each Scenario	32
	4.3.2 Acidification Potential for Each Scenario	35
V	**CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**	38
	REFERENCES	40
	APPENDICES	46
	Appendix A Ohio State Farm Dairy	46
	Appendix B Life Cycle Impact Assessment	50
	Appendix C Calculation	56
	CURRICULUM VITAE	62

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
2.1	Fresh manure Production and Characteristics per Animal Type	6
2.2	Digester operating parameters	12
4.1	Time table for manure land application	26
4.2	Amount of gaseous emissions (kg) from five scenarios (i.e. life cycle inventory of manure utilization for five scenarios based on annual manure from 347 cows)	30
A1	The Ohio state farms dairy in 2013	46
A2	The Northwest Ohio farms dairy in 2013	49
C3.1	The energy content from co-generation system	57

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
2.1	Total U.S. greenhouse gases emission 2011.	6
2.2	Anaerobic digestion process.	10
2.3	Complete mixed digester.	11
2.4	Plug flow digester.	11
2.5	Fixed film digester.	12
2.6	Superheated steam dryer.	13
2.7	Overview of Life Cycle Assessment.	16
2.8	System boundaries from cradle to grave.	17
2.9	Phase and application of life cycle assessment.	18
4.1	System boundary for scenario 1A modeled.	26
4.2	System boundary for scenario 1B modeled.	27
4.3	System boundary for scenario 2 modeled.	27
4.4	System boundary for scenario 3A modeled.	29
4.5	System boundary for scenario 3B modeled.	29
4.6	Relative and absolute contribution of GWP comparison for all five scenarios.	32
4.6	Relative and absolute contribution of AP comparison for all five scenarios.	36
B1.1	Global warming potential for scenario 1A.	50
B1.2	Global warming potential for scenario 1B.	51
B1.3	Global warming potential for scenario 2.	51
B1.4	Global warming potential for scenario 3A.	52
B1.5	Global warming potential for scenario 3B.	52
B2.1	Acidification potential for scenario 1A.	53
B2.2	Acidification potential for scenario 1B.	53
B2.3	Acidification potential for scenario 2.	54

FIGURE **PAGE**

B2.4 Acidification potential for scenario 3A. 54

B2.5 Acidification potential for scenario 3B. 55

ABBREVIATIONS

AP	acidification potential
FU	functional unit
GHG	greenhouse gas
GWP	global warming potential
LCA	life cycle assessment
LCI	life cycle inventory
LCIA	life cycle impact assessment
SSD	superheated steam drying
VOCs	volatile organic compounds