SUSTAINABLE PROCESS DESIGN FOR BIOMASS-BASED BIOFUEL: BIOETHANOL PRODUCTION FROM MOLASSES

Naruporn Narot

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
2011

Thesis Title:	Sustainable Process Design for Biomass-based Biofuel: Bioethanol Production from Molasses
By:	Naruporn Narot
Program:	Petroleum Technology
Thesis Advisors:	Asst. Prof. Pomthong Malakul
	Prof. Rafiqul Gani

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)

.....

(Prof. Rafiqul Gani)

.....

(Asst. Prof. Kitipat Siemanond)

.....

(Assoc. Prof. Thumrongrut Mungcharoen)

บทคัดย่อ

นฤพร นารอต : การออกแบบกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากวัสดุประเภทชีวมวลอย่างยั่งยืน: การผลิตไบโอเอทานอลจากกากน้ำตาล (Sustainable Process Design for Biomass-based Biofuel: Bioethanol Production from Molasses) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา และ ศ. ดร. ราฟิก กานี่ 142 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสำหรับกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลอย่างยั่งยืน โดยใช้เครื่องมือหลายประเภท ได้แก่ การจำลองกระบวนการผลิต การวิเคราะห์ความยั่งยืน และการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) โปรแกรม PRO/II 8.2 ได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองพื้นฐานสำหรับกระบวนการผลิตเอทานอลโดยใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ และใช้โปรแกรมวิเคราะห์ความยั่งยืน SustainPro ในการวิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านความยั่งยืน เพื่อนำมาหาแนวทางปรับปรุงแบบจำลอง จากนั้น จึงใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรม SimaPro 7.0 และวิธี CML 2 baseline 2000 โดยมุ่งเน้นที่ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน จากผลการวิเคราะห์ของโปรแกรม SustainPro แบบจำลองทางเลือกใหม่จำนวนสี่แบบได้ถูกสร้างขึ้นทั้งในเชิงกระบวนการและเชิงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในทางเลือกที่หนึ่งคือ การสร้างสายรีไซเคิลเพื่อพยายามเพิ่มการผลิตเอทานอลให้มากขึ้น ทางเลือกที่สองคือ การนำเซลลูโลสที่ยังไม่ถูกแปรรูปมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ส่วนทางเลือกที่สาม ได้นำเซลลูโลสที่ยังไม่ถูกแปรรูปมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอออยล์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส และทางเลือกสุดท้ายคือการนำเซลลูโลสที่ยังไม่ถูกแปรรูปมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไฮดรอกซิลเมทิลเฟอร์ฟูรัล สำหรับการผลิตพลาสติก โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองพื้นฐานกับแบบจำลองทางเลือกต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นว่ามีการปรับปรุงกระบวนการให้ยั่งยืนขึ้นเพียงใด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางเลือกที่หนึ่งมีอัตราผลตอบแทนมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจสูงที่สุด แต่ก็มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในทางตรงกันข้าม ทางเลือกที่สองไม่เพียงแต่จะช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ แต่ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากที่สุดอีกด้วย เนื่องจากสามารถช่วยลดภาระการใช้พลังงานโดยรวมของระบบลงได้อย่างมาก

ABSTRACT

5273008063: Petroleum Technology Program
Naruporn Narot: Sustainable Process Design for Biomass-based Bio-fuel: Bioethanol Production from Molasses
Thesis Advisors: Asst. Prof. Pomthong Malakul and Prof. Rafiqul Gani, 142 pp.
Keywords: Sustainable process design/ Life cycle assessment/ Sustainability Analysis / Bioethanol / Molasses

This work developed a sustainable process of bio-ethanol production from molasses by using various tools including process simulation, sustainability analysis, and life cycle assessment (LCA). The process simulator, PRO/II 8.2, was used to generate the base case design of the bio-ethanol conversion process using molasses as a feedstock. The sustainability analysis software, SustainPro, was then used to analyze relevant indicators in the sustainability metrics, which were further employed to provide directions for improvements. Lastly, evaluation of the life cycle environmental burdens associated with the bio-ethanol production was performed by using LCA software, SimaPro 7.0 with CML 2 baseline 2000, focusing on GWP. Based on SustainPro results, four design alternatives had been generated for possible improvement in term of energy efficiency. In Alternative 1, the ethanol production was enhanced by using recycle process stream. In Alternative 2, unconverted cellulose in molasses was used as a fuel in the process. In Alternative 3, unconverted cellulose was used to produce bio-oil via pyrolysis. Lastly, Alternative 4, unconverted cellulose was used to produce hydroxymethyl furfural (HMF). Comparing to the base case design, the results show that Alternative 1 yields the highest economic value added but the environmental impact also increases. In contrast, Alternative 2 not only helps increase the economic value added but also lowers the environmental impact due to the overall reduction in energy used in the process.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work would not have been possible without the assistance of the following individuals:

First and foremost, I sincerely appreciate Asst. Prof. Pomthong Malakul and Prof. Rafiqul Gani, my advisor for providing invaluable knowledge, creative comments, untouchable experience in classroom, and kind support throughout this research work.

I would like to thank Asst. Prof. Kitipat Siemanond and Assoc. Prof. Thumrongrut Mungcharoen for being my thesis committee. Their suggestions and comments are very beneficial for me and this work.

I would like to acknowledge to Dr. Merlin Morales and Mr. Philip Lutze for the excellent supporting regarding PRO/II and SustainPro with patience and total availability to help. I also would like to express my appreciation to Mr. Seksan Papong for the help for running SimaPro.

The author is grateful for the scholarship and funding of the thesis work provided by the Petroleum and Petrochemical College, Chualongkorn University; and the National Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials, Thailand. I would also like to thank Computer Aided Process Engineering Center, Technical University of Denmark for funding this thesis.

I greatly appreciate all PPC staffs and my friends who gave me support and encouragement.

Finally, I am deeply indebted to my family for their love, understanding, encouragement, and support for me at all time.

TABLE OF CONTENTS

CHAPTER **PAGE**

CHAPTER **PAGE**

CHAPTER PAGE

CHAPTER PAGE

CHAPTER **PAGE**

LIST OF TABLES

TABLE **PAGE**

TABLE **PAGE**

LIST OF FIGURES

FIGURE **PAGE**