STUDY OF CARBON-DIOXIDE CAPTURE PROCESS USING AQUEOUS AMMONIA

Akrawin Jongpitisub

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

Thesis Title: Study of CO_2 Capture Process using Aqueous Ammonia

By: Akrawin Jongpitisub

Program: Petroleum Technology

Thesis Advisors: Asst. Prof. Kitipat Siemanond

Prof. Amr Henni

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. Kitipat Siemanond)

....

(Prof. Amr Henni)

....

(Dr. Uthaiporn Suriyapraphadilok)

....

(Assoc. Prof. Apinya Duangchan)

ABSTRACT

5673001063: Petroleum Technology Program
Akrawin Jongpitisub: Study of CO_2 capture process using aqueous ammonia.
Thesis Advisors: Asst. Prof. Kitipat Siemanond and Prof. Amr Henni
95 pp.
Keywords: Post combustion CO_2 capture/ MEA scrubbing process/ Ammonia scrubbing process/ Simulation modelling/ Heat exchanger network.

Carbon dioxide (CO_2) emissions to the atmosphere have become an issue for many industries, especially coal-fired power plants, due to their contribution to global warming. Many research projects are presently involved the development of effective solvents to combat these severe environmental problems. Aqueous ammonia is a solvent that has been proposed as a replacement to conventional aqueous monoethanolamine (MEA) in post-combustion CO_2 capture. In this study, an aqueous ammonia based CO_2 capture process was simulated by Aspen Plus simulator for capturing about 90 % by weight of CO_2 with a purity of 98 % by weight from a post-combustion flue gas based on a 180 MW_e coal-fired power plant. The simulation of this process was performed to meet the ammonia emission standard. An ammonia-based simulation process consists of two parts: the CO_2 absorption process and the ammonia abatement process. To minimize the energy consumption of the process, heat integration was applied by adding a Heat Exchanger Network (HEN). HEN was designed using stage-wise model (Yee and Grossmann, 1990) and validated using the Aspen Plus simulator. Furthermore, capital investment and annual costs were investigated using Aspen Plus Cost Estimator, and some economic parameters (Hassan *et al.*, 2007) to assess the feasibility of this process based on standard environmental regulations. The results showed that the performance of actual aqueous ammonia plants using process integration reduced the energy requirement from a "non-integrated process by 58 % on the heaters, coolers and

electrical units, resulting in a theoretical decrease of 47 % in the annual cost of utilities, compared to the cost without process heat integration.

บทคัดย่อ

อัครวินท์ จงปิติทรัพย์: การศึกษากระบวนการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวดักจับสารละลายแอมโมเนีย (Study of CO_2 capture process using aqueous ammonia) ผศ.ดร. กิตติพัฒน์ สีมานนท์ ศ.ดร. อามาร์ เฮนนี่ 95 หน้า

ปัจจุบันการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานอุตสาหกรรมออกสู่บรรยากาศเป็นปัญหาอย่างมากที่ส่งผลต่อสภาวะโลกร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งแก๊สที่ปล่อยออกมาจากโรงงานไฟฟ้าถ่านหิน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาประสิทธิภาพของตัวทำละลายเพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน สารละลายแอมโมเนียถือเป็นสารละลายทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ทดแทนสารละลายมอนอเอทาโนลามีนในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดหลังการเผาไหม้ ในการศึกษานี้ใช้แอสเพนพลัส (Aspen Plus) ในการจำลองการดักจับ 90 เปอร์เซ็นต์ ของแก๊สคาร์บอนออกไซด์จากแก๊สไอเสียในโรงงานไฟฟ้าถ่านหินขนาด 180 เมกกะวัตต์และ ความบริสุทธิ์ 98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนการจัดเก็บโดยใช้สารละลายแอมโมเนีย การออกแบบกระบวนการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีมาตรฐานของการปล่อยแก๊สแอมโมเนียออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยกว่า 2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยกระบวนการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายแอมโมเนียแบ่งเป็น 2 ส่วนย่อย ได้แก่ กระบวนการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และกระบวนการลดการปลดปล่อยแอมโมเนียสู่บรรยากาศ การแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนโครงร่างตาข่าย (Heat integration network) ใช้ในการลดการใช้พลังงานของการกระบวนการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งโมเดลที่ใช้ได้แก่ Stage-wise model (Yee and Grossman, 1990) อีกทั้งได้มีการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนโครงร่างตาข่ายกับแอสเพนพัส (Aspen Plus) เพื่อหาความไม่แน่นอนในเชิงตัวเลขของกระบวนการดักจับ มากไปกว่านั้นค่าใช้จ่ายในการลงทุนและต้นทุนการดำเนินงานประจำปีคำนวณจากแอสเพนพลัส (Aspen Plus) และตัวแปรบางตัวเพื่อบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ของกระบวนการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นี้ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพโรงงานดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายแอมโมเนียที่ผ่านการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนโครงร่างตาข่ายสามารถลดความต้องการทางด้านพลังงานได้ถึง 58 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกระบวนการที่ไม่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนโครงร่างตาข่าย อีกทั้งในเชิงทฤษฎียังสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานประจำปีได้ถึง 47 เปอร์เซ็นต์

ACKNOWLEDGEMENTS

This thesis was successfully completed not only due to my dedication but also with the extended support by a number of people and organizations. I really appreciate all who have supported me to get this work done.

First of all, I would like to express my sincere gratitude to Asst. Prof. Kitipat Siemanond, my advisor for this work, whose insight, expertise and encouragement helps me to develop an understanding of this thesis. I greatly appreciate the time and effort he provided me for this thesis. Without his supervision, I might not have completed this thesis.

I greatly appreciate Prof. Amr Henni, my co-advisor from University of Regina, Canada. He provided me encouragement, great advice and guidance through this thesis. His willingness to devote his time to give me his valuable suggestions and to correct my works is very much appreciated. I greatly appreciate him for spending time to answer my email, and for significant comments on my thesis results.

I would like to thank Dr. Uthaiporn Suriyapraphadilok and Assoc. Prof. Apinya Duangchan for their nice suggestions and for being my thesis committees.

I am grateful for the scholarship and funding provided by the Petroleum and Petrochemical College; and the National Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials, Thailand.

I would like to extend my gratitude to all faculty members and staffs of the Petroleum and Petrochemical College, for their support and guidance given to me throughout my study here.

Finally, I wish to thank my family and friends for their endless love and support, especially my mother for her contribution to the success of my graduate study here. Their encouragement and support from the beginning to the end have helped make this thesis possible.

TABLE OF CONTENTS

LIST OF TABLES

TABLE **PAGE**

TABLE PAGE

LIST OF FIGURES

FIGURE PAGE

FIGURE **PAGE**

LIST OF ABBREVIATIONS

CCC	Cryogenic carbon capture
CPIG	Ideal gas heat capacity
DHVLDP	Heat of vaporization
DNLDIP	Liquid density
EPA	Environmental protection agency
GAMS	The general algebraic modeling system
GWP	Global warming potential
HEN	Heat integration network
HFCs	Hydrofluorocarbons
IPCC	Intergovernmental panel on climate change
KLDIP	Liquid thermal conductivity
KVDIP	Vapour thermal conductivity
MULDIP	Liquid viscosity
MUVDIP	Vapour viscosity
MUVDIP	Liquid vapour pressure
NETL	National energy technology laboratory
NRTL	Non-random two liquid model
PFCs	Perfluorocarbon
PCC	Post combustion capture
PC	Post combustion
RCSTR	Continuous stirred-tank reactor
RTIL	Room-temperature ionic liquid
SIGDIP	Liquid surface tension
TCI	Total capital investment

LIST OF SYMBOLS

K_0	Apparent absorption rate
n_{CO2}	mol of CO_2
P_0	Partial pressure
α_{CO2}	CO_2 loading
η	Viscosity