ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
E46933

THE DYNAMIC MODELING OF OXYFUEL COMBUSTION FURNACE WITH FLUE GAS RECIRCULATION SYSTEM

MR. PURINUT THANAVIBULCHAI

A SPECIAL RESEARCH PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING (CHEMICAL ENGINEERING)
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THONBURI
2010

b00246559

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
E46933

The Dynamic Modeling of Oxyfuel Combustion Furnace with Flue Gas Recirculation System

Mr. Purinut Thanavibulchai B.Eng. (Chemical Engineering)

A Special Research Project Submitted in Partial Fulfillment
of the Requirements for
the Degree of Master of Engineering (Chemical Engineering)
Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology Thonburi
2010

Special Research Project Committee

..... (Assoc. Prof. Dr. Thongchai Srinophakun, Ph.D.)	Chairman of Special Research Project Committee
..... (Lect. Hong-ming Ku, Ph.D.)	Member and Special Research Project Advisor
..... (Asst Prof. Dr. Kwanchanok Pasuwat, Ph.D.)	Member

Copyright reserved

Special Research Project Title	The Dynamic Modeling of Oxyfuel Combustion Furnace with Flue Gas Recirculation System
Special Research Project Credits	6
Candidate	Mr. Purinut Thanavibulchai
Special Research Project Advisors	Dr. Hong-ming Ku
Program	Master of Engineering
Field of Study	Chemical Engineering
Department	Chemical Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2553

E46933

Abstract

Global warming is a serious problem which is largely concerned around the world. The major cause of this problem occurs from carbon dioxide (CO_2) gas that has been released around the world. The important major source of carbon dioxide is coal combustion in power plants to generate electricity. This study focuses on the use of oxyfuel combustion process to increase the purity of carbon dioxide in the flue gas for easy treatment process. The objectives of this study are to develop a dynamic model of oxyfuel combustion furnace with flue gas recirculation system and use the developed model to study the dynamic behavior of the furnace system. The result of this study can be divided into 2 parts: model development and validation which use gPROMs program to develop the dynamic model of the oxyfuel combustion process from the data of Greenfield oxyfuel power plant. The study shows that the developed model can represent the furnace operation correctly, as the flue gas composition result is almost the same when compared with the flue gas composition data from the reference data with a maximum error of 1.29 % for major components. A sensitivity analysis is performed and shows that the coal flow rate, the oxygen flow rate, and the percentage of recycle flue gas affect the performance of the furnace in both gas phase temperature and purity of carbon dioxide in the flue gas. The higher coal flow rate, the higher gas phase temperature, and the higher the carbon dioxide purity since it increase the combustion reaction. On the contrary, increased oxygen flow rate decrease the gas phase temperature and purity of carbon dioxide, as oxygen stream entering furnace has a lower temperature. The percentage of recycle flue gas show different results. The gas phase temperature in the furnace is decreased if the percentage of recycle flue gas increases as a result from total mass in the furnace increased while the carbon dioxide purity is decreased. For efficient operation, controllers should be installed in the system to control vital parameters at suitable values. In this study, there are 2 controllers installed to control the ratio of recycle flue gas to flue gas and the primary air flow rate to secondary air flow rate. The study result from the impact from changes in coal and oxygen flow rates shows that the controllers are able to control the gas phase temperature and carbon dioxide purity as close to the normal operation than the system without controllers.

Keywords: Dynamic Model/ Oxyfuel Combustion/ Furnace/ Coal-fired Power Plant

หัวข้อโครงการศึกษาวิจัย	แบบจำลองของระบบการเผาไหม้แบบใช้ออกซิเจน แบบมีระบบนำกลับก๊าซเสีย
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นายภูริณัฐ ธนวิบูลย์ชัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	Dr. Hong-ming Ku
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2553

46933

บทคัดย่อ

ปัญหาโลกร้อนนั้นเป็นปัญหาสำคัญที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง สาเหตุสำคัญของปัญหานี้นั้นมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งกำเนิดต่างๆทั่วโลก โดยแหล่งกำเนิดที่สำคัญนั้นมาจากการเผาไหม้ของถ่านหินสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้า งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การใช้ระบบเผาไหม้แบบใช้ออกซิเจนเพื่อทำการเพิ่มความบริสุทธิ์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซเสีย และเป็นผลให้สามารถกำจัดได้ง่ายยิ่งขึ้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของระบบเผาไหม้แบบใช้ออกซิเจนโดยรวมระบบนำกลับก๊าซเสียเอาไว้ด้วย และนำมาศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของเตาปฏิกรณ์ ผลการวิจัยนี้สามารถแบ่งได้เป็นสองส่วน ในส่วนแรกนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากโปรแกรม gPROMS โดยใช้ข้อมูลจาก Greenfield Oxyfuel power plant เป็นต้นแบบ จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองสามารถแสดงผลทางพลศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง โดยสามารถวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซเสียได้ใกล้เคียงกับผลการทดสอบจากแห่งอ้างอิงมากโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดเพียงร้อยละ 1.29 เท่านั้น และส่วนหลังที่จะแบบจำลองไปศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงต่างๆต่อประสิทธิภาพของเตาปฏิกรณ์ในเชิงของอุณหภูมิในเตาปฏิกรณ์ และปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบ ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการป้อนของถ่านหิน, อัตราการป้อนของก๊าซออกซิเจน, และ อัตราส่วนการนำกลับของก๊าซเสีย จาก

E 46933

ผลการศึกษา สามารถสรุปได้ว่า ทั้งหมดมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตาปฏิกรณ์ โดยเมื่ออัตราการป้อนของถ่านหินเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้อุณหภูมิของก๊าซในเตาปฏิกรณ์เพิ่มขึ้น และยังมีผลทำให้เกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีเชื้อเพลิงเข้าไปในเตาปฏิกรณ์เพิ่มมากขึ้นนั่นเอง สำหรับอัตราการป้อนของก๊าซออกซิเจนนั้น มีผลตรงกันข้ามกล่าวคือจะทำให้อุณหภูมิของก๊าซในเตาปฏิกรณ์ และอัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซเสียลดลง เนื่องมาจากปริมาณของออกซิเจนที่ให้กับระบบนั้น เดิมทีมีมากเกินพออยู่แล้ว จึงไม่มีผลต่อการเผาไหม้ ยิ่งไปกว่านั้นก๊าซออกซิเจนที่ป้อนเข้าไปนั้นมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้ไปลดอุณหภูมิของก๊าซในเตาปฏิกรณ์แทน ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิของก๊าซในเตาปฏิกรณ์ลดลง และอัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ลดลงตามมา สำหรับตัวแปรสุดท้าย นั่นคืออัตราการนำกลับของก๊าซเสีย ตัวแปรนี้มีผลเหมือนกับอัตราการป้อนของก๊าซออกซิเจน นั่นคือ เมื่อเพิ่มปริมาณการนำกลับของก๊าซเสียจะมีผลทำให้อุณหภูมิของก๊าซภายในเตาปฏิกรณ์ลดลง และทำให้อัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซเสียมีค่าลดลงด้วย ทั้งนี้เป็นผลมาจากปริมาณของมวลสารรวมในเตาปฏิกรณ์มีจำนวนเพิ่มขึ้น โดยเป็นผลมาจากการนำกลับของก๊าซเสีย ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของก๊าซในเตาปฏิกรณ์ และมีผลทำให้อุณหภูมิของก๊าซในเตาปฏิกรณ์มีค่าลดลง นอกจากนี้ ยังได้ทำกรณีศึกษาของระบบเตาปฏิกรณ์ที่มีการติดตั้งตัวควบคุมในระบบ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอัตราการนำกลับของก๊าซเสียให้คงที่, ควบคุมอัตราการแบ่งของอากาศปฐมภูมิ และทุติยภูมิ, และควบคุมอัตราส่วนการป้อนของถ่านหิน กับออกซิเจน และได้ทำการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของเตาปฏิกรณ์ ผ่านทางอุณหภูมิของก๊าซในเตาปฏิกรณ์ และอัตราส่วนน้ำหนักของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซเสีย จากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการป้อนของถ่านหิน และ ออกซิเจน ซึ่งผลปรากฏว่า ระบบที่มีตัวควบคุม สามารถควบคุมระบบให้ยังมีประสิทธิภาพใกล้เคียงเดิมได้ ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการป้อนของถ่านหิน หรือออกซิเจนก็ตาม

คำสำคัญ : แบบจำลองทางพลศาสตร์/ ระบบเผาไหม้แบบใช้ออกซิเจน/ เตาปฏิกรณ์/ โรงไฟฟ้าถ่านหิน

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my gratitude to Prof. Eric Crioset and Prof. Luis Ricardez Sandoval who gave me a lot of advice during my stay in Canada. This thesis could not have been completed without their support and revision. Dr. Hong–ming Ku, my thesis advisor, Assoc. Prof. Dr. Thongchai Srinophakun and Assist. Prof. Dr. Kwanchanok Pasuwat, my thesis committee, for their continuous guidance, suggestions and comments to improve the quality of my thesis.

I also would like to acknowledge Ms. Atchariya Chansomwong for helping me get started with the gPROMs program and providing me necessary materials for the thesis and others students in Carbon capture research group at University of Waterloo, Canada for their help during my stay in Waterloo. Without their suggestions, the work could not have progressed smoothly.

Finally, I would like to show my gratitude to King Mongkut's University of Technology Thonburi, my precious friends and all staff in ChEPS where I received a lot of knowledge and experience that will engrave in my heart forever.

CONTENTS

	PAGE
ENGLISH ABSTRACT	iii
THAI ABSTRACT	iv
ACKNOWLEDGEMENTS	vi
CONTENTS	vii
LIST OF TABLES	viii
LIST OF FIGURES	ix
CHAPTER	
1. INTRODUCTION	**1**
1.1 Background	1
1.2 Objectives	2
1.3 Scopes of Work	2
1.4 Expected Results	2
2. THEORY AND LITERATURE REVIEW	**3**
2.1 Carbon dioxide capture technologies	3
2.2 Oxyfuel Combustion Process	3
2.3 Modeling of Oxyfuel CombustionProcess with flue gas recirculation system	6
2.4 Mass and Energy Balance in Furnace	6
2.5 Reactions in Furnace	9
2.6 Component Balance in Furnace	10
2.7 Literature Reviews	17
3. METHODOLOGY	**18**
3.1 Study and Collect Information	18
3.2 Study the Equation and gPROMS Program	19
3.3 Develop and Validate the Dynamic Model	19
3.4 Study the Effect of Furnace Input on the Dynamic Behavior	20
3.5 Analyze and Conclude the Results	21
4. RESULTS AND DISCUSSION	**22**
4.1 Model Validation	22
4.2 Sensitivity analysis	22
4.3 Case Study	27
5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	**33**
5.1 Conclusions	33
5.2 Recommendations	33
REFERRENCE	**34**
APPENDIX	**35**
A Rate Equation and Parameters	35
B Simulation results	39
C Simulation program codes	53
CURRICULUM VITAE	**70**

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
3.1	The composition of coal used as raw material	19
3.2	The operating condition of furnace	19
3.3	The composition of flue gas	19
3.4	The effect from coal flow rate	20
3.5	The effect from oxygen flow rate	20
3.6	The effect from percentage of recycle flue gas	21
4.1	Comparison between reference data and simulation data from dynamic model	22

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
2.1	Oxyfuel combustion process	4
2.2	Air Separation Unit (ASU)	4
2.3	Oxyfuel Combustion Furnace and Heat Recovery Steam Generator (HRSG)	5
2.4	Carbon Dioxide Purification and Compression Unit	5
2.5	Carbon reactions in furnace	9
2.6	Nitrogen reactions in furnace	10
2.7	Sulfur reactions in furnace	10
3.1	Methodology of the thesis	18
4.1	Effect of coal flow rate on the temperature of gas phase in furnace	23
4.2	Effect of coal flow rate on the mass fraction of Carbon dioxide in flue gas	24
4.3	Effect of oxygen flow rate on the temperature of gas phase in furnace	24
4.4	Effect of oxygen flow rate on the mass fraction of Carbon dioxide in flue gas	25
4.5	Effect of percentage of recycle flue gas on the temperature of gas phase in furnace	26
4.6	Effect of percentage of recycle flue gas on the mass fraction of Carbon dioxide in flue gas	26
4.7	Location of controller	27
4.8	Comparison of dynamic respond of temperature of gas phase when coal flow rate change between the system with controller and without controller	28
4.9	Comparison of dynamic respond of mass fraction of carbon dioxide in flue gas when coal flow rate change between the system with controller and without controller	28
4.10	Comparison of dynamic respond of temperature of gas phase when oxygen flow rate change between the system with controller and without controller	29
4.11	Comparison of dynamic respond of mass fraction of carbon dioxide in flue gas when oxygen flow rate change between the system with controller and without controller	29
4.12	Oxyfuel furnace system control strategy	30
4.13	Effect of coal flow rate on carbon dioxide content in flue gas	31