# การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซจากถ่านหินคุณภาพต่ำเพื่ออนุรักษ์พลังงานและรักษาสิ่งแวดล้อม

นาย ชัยวิทย์ เสมอภาค

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3829-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# A STUDY OF GASIFICATION OF LOW QUAITY COAL FOR ENERGY CONSERVATION AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Mr. Chaiwit Samerpark

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-3829-3

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซจากถ่านหินคุณภาพต่ำเพื่ออนุรักษ์พลังงานและรักษาสิ่งแวดล้อม |
| โดย | นาย ชัยวิทย์ เสมอภาค |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเครื่องกล |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

นาย ชัยวิทย์ เสมอภาค : การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซจากถ่านหินคุณภาพต่ำเพื่ออนุรักษ์พลังงานและรักษาสิ่งแวดล้อม. (A STUDY OF GASIFICATION OF LOW QUAITY COAL FOR ENERGY CONSERVATION AND ENVIRONMENTAL PROTECTION) อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล, 113 หน้า. ISBN 974-17-3829-3

ปัจจุบันการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซจากถ่านหินคุณภาพต่ำเพื่ออนุรักษ์พลังงานและรักษาสิ่งแวดล้อมในฟลูอิดไดซ์เบดเป็นวิธีการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซจากเชื้อเพลิงแข็งที่เป็นที่นิยมกันวิธีหนึ่ง เนื่องจากมีอัตราการถ่ายเทมวลสารและพลังงานเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพสูง และซึ่งหากการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซได้กระทำในสภาวะที่เหมาะสม จะทำให้ให้เกิดผลผลิตที่มากที่สุด ดังนั้นจึงได้ทำการวิจัยในเรื่องนี้โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซแบบต่อเนื่องในฟลูอิดไดซ์เบดที่จะให้เชื้อเพลิงก๊าซมากที่สุด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าและวิจัยในการที่จะนำถ่านหินคุณภาพต่ำที่มีอยู่มากในประเทศไทยมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

การศึกษาจะทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซจากถ่านหินคุณภาพต่ำ 4 ขนาดคือ น้อยกว่า 0.85 มิลลิเมตร, 0.85 - 1.18 มิลลิเมตร, 1.18 - 2.36 มิลลิเมตร และ 2.36 – 3.5มิลลิเมตร ในคอลัมน์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 39 เซนติเมตร สูง 200 เซนติเมตร โดยใช้อากาศเป็นก๊าซตัวกลาง และเก็บข้อมูลการวิจัยโดยมีตัวแปรที่พิจารณาคือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่อความเร็วของอากาศ และอุณหภูมิของการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซ ในการทดลองจะใช้ช่วงอุณหภูมิในการทำการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซที่ 750, 800, 850, 900 °C อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 11 กิโลกรัม/ชั่วโมง และความเร็วของอากาศ 2.05 และ 2.75 เมตร/วินาที

จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซในคอลัมน์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง คือ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ขนาดถ่านหิน 2.36-3.5 มิลลิเมตร ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้คาร์บอนมอนนอกไซด์ 9.89 % คาร์บอนไดออกไซด์ 12 % ซัลเฟอร์ออกไซด์0.326 % ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ 1.25 เมกะจูล/ลูกบาศก์เมตร ประสิทธิภาพของเตาผลิตเชื้อเพลิงก๊าซ 40 % ต้นทุนทางความร้อนในการผลิตเชื้อเพลิง 75 สตางค์ต่อความร้อน 1.25 เมกะจูล/ลูกบาศก์เมตร

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา...วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา....2546.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

##4470275521 :MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: GASIFICATION / LOW COAL / ENERGY

CHAIWIT SAMERPARK: A STUDY OF GASIFICATION OF LOW QUAITY COAL FOR ENERGY CO NSERVATION AND ENVIRONMENTAL PROTECTION. THESIS ADVISOR : ASST PROF MINSAK TANGTAKUL , 113 pp. ISBN 974-17-3829-3.

A low quality coal gasification study has been very interested by the researcher today. Its aim to use as the alternative fuel to conversion the energy and environment. The fluidized bed gasification methods production is one of the several process for gasification from solid fuels. Its advantage by the Homogeneity of mass and the Heat Transfer beside with high efficiency. Objective of this research was concentrated study in the optimal operating condition with regard to highest conversion efficiency, which will guide to future research on the utilization of low quality coal of Thailand to get highest benefit.

In this study a column Fluidized bed system has been redesigned and developed after some problems was encountered and has been solved. The test run on the continuous gasification of 4 low quality coal sizes. The first size was small than 0.85, the second was between 0.85 to 1.18 , the third was 1.18 to 2.36 and the last one was 2.36 to 3.5 mm. The reactor column dimension was 39 cm. and 200 cm. height. The normal air were using the carrier gas at atmospheric pressure. The interesting parameters were the rate of the fuel feed per air flow rate and the temperature of the gasification which will give the optimal circumstance for production process. This experimental temperature using were varied 750, 800, 850 and 900 $^{o}$C, the fuel feed were 11 kg/hr, and the air flow rate 2.05 m/s and 2.75 m/s.

The results has show that the best operating condition in the continuous fluidized bed was at the gasification 's temperature of 900 $^{o}$C with the 2.36 to 3.5 mm. coal size, this will be produced the essential concentration percentage of the composition gas and high heating value. The production gases were consist of Carbonmonoxide (CO) 9.89%, Carbondioxide ($CO_2$) 12 %, Sulfur oxide ($SO_x$) 0.326%, the heating value were 1.25 MJ/m$^3$. The efficiency of the fluidized bed gasifier was 40% and cost of produced gas heating value was 0.75 baht per 1.25. MJ/m$^3$.

Department...Mechanical Engineering.....Student's signature.....

Filed of study...Mechanical Engineering.....Advisor's signature.....

Academic year...2003.....Co-advisor's signature.....

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกรุงเทพมหานคร โดยการวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของบุคคลหลายท่าน ดังนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาเป็นผู้ชี้แนะหัวข้อแนวทางทำวิจัย และให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัย พร้อมทั้งสนับสนุนเครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์ รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ และอาจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ที่กรุณาให้คำแนะนำและถ่ายทอดประสบการณ์ความรู้ต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย ให้ความสะดวกในการตรวจวัดระหว่างการวิจัยอย่างเต็มที่ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนถ่านหินสำหรับงานวิจัย และกองโรงงานช่างกล สำนักการคลัง กรุงเทพมหานคร ที่อนุญาตให้ลาศึกษาต่อ

ขอขอบคุณ คุณปิยะพันธ์ จะกอ และ คุณชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือร่วมทำการทดลองกับผู้วิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อนทีมงานนักวิจัยห้องปฏิบัติการพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเพื่อนนิสิตโท พี่นิสิตปริญญาเอก ทุกท่านที่ให้กำลังใจและค่อยสนับสนุนการวิจัยทดลอง

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนการวิจัยทั้งในด้านค่าใช้จ่าย อำนวยความสะดวกและให้กำลังใจมาโดยตลอด ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

สัญลักษณ์ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย ..... 3

1.3 วิธีดำเนินการวิจัย ..... 3

1.4 ขอบเขตการวิจัย ..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี ..... 5

2.2 ระบบการผลิตเชื้อเพลิง ..... 8

2.3 ประเภทของกระบวนการกาสิฟิเคชั่น ..... 9

2.4 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ..... 12

2.5 ลักษณะของระบบกาสิฟิเคชั่นแบบฟลูอิดไดซ์เซชั่น ..... 14

2.6 การเลือกแผ่นชนิดกระจายก๊าซ ..... 18

2.7 การนำระบบฟลูอิดไดซ์เซชั่นประยุกต์ใช้ในกระบวนการกาสิฟิเคชั่น ..... 20

2.8 การออกแบบแผ่นกระจายก๊าซ ..... 21

2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 24

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


บทที่ 3. วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ..... 26

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด ..... 33

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย ..... 35

3.4 วิธีการทดลองผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินคุณภาพต่ำ ..... 39

บทที่ 4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหินคุณภาพต่ำ ..... 41

4.2 ผลการวัดก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ..... 43

4.2.1 ผลการวัดผลการวัดก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ของถ่านหินขนาด ..... 43
น้อยกว่า 0.85 mm

4.2.2 ผลการวัดผลการวัดก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ของถ่านหินขนาด ..... 46
0.85 – 1.18 mm

4.2.3 ผลการวัดผลการวัดก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ของถ่านหินขนาด ..... 49
1.18 -2.36 mm

4.2.4 ผลการวัดผลการวัดก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ของถ่านหินขนาด ..... 52
2.36 – 3.5 mm

4.3 ผลของขนาดถ่านหินและอุณหภูมิต่อการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ..... 55

4.4 ผลของขนาดถ่านหินและอุณหภูมิต่อการเกิดก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ ..... 58

4.5 ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ..... 61

บทที่ 5. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหินคุณภาพต่ำ ..... 64

5.2 การวิเคราะห์ขนาดของถ่านหินคุณภาพต่ำที่มีต่อการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซ ..... 64

5.3 การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิต่อการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซ ..... 67

5.4 การวิเคราะห์ผลของอัตราการป้อนอากาศต่อการกาสิฟิเคชันถ่านหินคุณภาพต่ำ ..... 68

5.5 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ..... 68

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


บทที่ 6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 ขนาดของถ่านหินคุณภาพต่ำต่อการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซ ..... 69

6.2 ผลของอุณหภูมิต่อการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซ ..... 69

6.3 อัตราการป้อนอากาศต่อการป้อนถ่านหินคุณภาพต่ำ ..... 69

6.4 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกาสิฟิเคชั่นถ่านหินคุณภาพต่ำ ..... 70

6.5 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ..... 70

6.6 ข้อเสนอแนะ ..... 71

รายการอ้างอิง ..... 72

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านหินแบบประมาณ ..... 75

ภาคผนวก ข. การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดที่เกิดฟลูอิดไดซ์ ..... 84

ภาคผนวก ค. การคำนวณสมดุลมวลสารและพลังงาน ..... 86

ภาคผนวก ง. การคำนวณค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง ..... 97

ประวัติผู้เขียน ..... 99

# สารบัญตาราง



ตาราง หน้า

3.1 การหาอัตราการป้อนถ่านหิน ..... 35
3.2 การหาอัตราการป้อนอากาศเข้าสู่เตาผลิตเชื้อเพลิงก๊าซ ..... 37
4.1 ผลการทดลองวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหินคุณภาพต่ำแบบประมาณ ..... 41
4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหินคุณภาพต่ำแบบละเอียดหรือแบบแยกธาตุ ..... 42
4.3 ผลการวัดค่าก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ของการใช้ถ่านหินคุณภาพต่ำขนาด ..... 43
น้อยกว่า 0.85 มิลลิเมตร
4.4 ผลการวัดค่าก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ของการใช้ถ่านหินคุณภาพต่ำ ..... 46
ขนาด 0.85 -1.18มิลลิเมตร
4.5 ผลการวัดค่าก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ของการใช้ถ่านหินคุณภาพต่ำ ..... 49
ขนาด 1.18 -2.36 มิลลิเมตร
4.6 ผลการวัดค่าก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ของการใช้ถ่านหินคุณภาพต่ำ ..... 52
ขนาด 2.36 -3.5 มิลลิเมตร
4.7 การเปรียบเทียบระหว่างขนาดของถ่านหินคุณภาพต่ำต่อการเกิด ..... 55
ก๊าซเชื้อเพลิงคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) กับอุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิง
4.8 การเปรียบเทียบระหว่างขนาดของถ่านหินคุณภาพต่ำต่อการเกิด ..... 58
ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ กับอุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิง
4.9 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ..... 61
กับอุณหภูมิของก๊าซผลิตเชื้อเพลิง
ก.1 รายการทดลองและมาตรฐานในการวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านหิน ..... 75

# สารบัญภาพ



ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 1.1 Davy "Winkler "fluid-bed gasifier 2
รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและผลิตภัณฑ์เมื่อถ่านหินถูกไพโลไลซ์ 6
รูปที่ 2.2 Down – draught Gasifier 13
รูปที่ 2.3 Ug – draught Gasifier 13
รูปที่ 2.4 Cross – draught Gasifier 13
รูปที่ 2.5 การเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน 14
รูปที่ 2.6 พฤติกรรมต่างๆที่เหมือนของเหลวของระบบฟลูอิดไดซ์ 15
รูปที่ 2.7 คุณภาพของฟลูอิดไดเซชันเกิดจากแผ่นกระจายต่างชนิดกัน 19
รูปที่ 2.8 แบบของตัวกระจายก๊าซลักษณะต่างๆกัน 20
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ออริฟิซกับเลขเรย์โนลด์ 23
รูปที่ 3.1 เครื่องบดถ่านหิน 26
รูปที่ 3.2 เครื่องคัดแยกถ่านหิน 27
รูปที่ 3.3 เครื่องป้อนถ่านหินเข้าสู่เตาผลิตเชื้อเพลิงก๊าซ 28
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ป้อนอากาศเข้าสู่เตาผลิตเชื้อเพลิงก๊าซ 29
รูปที่ 3.5 เตาผลิตเชื้อเพลิงก๊าซ 30
รูปที่ 3.6 ไซโคลน 31
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ลดอุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิง 32
รูปที่ 3.8 เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ 33
รูปที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซเชื้อเพลิง 34
รูปที่ 3.10 การหาอัตราการป้อนถ่านหิน 36
รูปที่ 3.11 การหาอัตราการป้อนอากาศเข้าเตาผลิตเชื้อเพลิงก๊าซ 38
รูปที่ 3.12 อุปกรณ์การทดลอง 40
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้กับ 44
อุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิงของถ่านหินคุณภาพต่ำขนาด
น้อยกว่า 0.85 มิลลิเมตร ที่อัตราการป้อนอากาศ 2.05 เมตร/วินาที
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้กับ 45
อุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิงของถ่านหินคุณภาพต่ำน้อยกว่า 0.85 มิลลิเมตร
ที่อัตราการป้อนอากาศ 2.75 เมตร/วินาที

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้กับ ..... 47
อุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิงของถ่านหินคุณภาพต่ำขนาด 0.85 - 1.18 มิลลิเมตร
ที่อัตราการป้อนอากาศ 2.05 เมตร/วินาที

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้กับ ..... 48
อุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิงของถ่านหินคุณภาพต่ำขนาด 0.85 - 1.18 มิลลิเมตร
ที่อัตราการป้อนอากาศ 2.75 เมตร/วินาที

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้กับ ..... 50
อุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิงของถ่านหินคุณภาพต่ำขนาด 1.18 – 2.36 มิลลิเมตร
ที่อัตราการป้อนอากาศ 2.05 เมตร/วินาที

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้กับ ..... 51
อุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิงของถ่านหินคุณภาพต่ำขนาด 1.18 – 2.36 มิลลิเมตร
ที่อัตราการป้อนอากาศ 2.75 เมตร/วินาที

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้กับ ..... 53
อุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิงของถ่านหินคุณภาพต่ำขนาด 2.36 – 3.5 มิลลิเมตร
ที่อัตราการป้อนอากาศ 2.05 เมตร/วินาที

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้กับ ..... 54
อุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิงของถ่านหินคุณภาพต่ำขนาด 2.36 – 3.5 มิลลิเมตร
ที่อัตราการป้อนอากาศ 2.75 เมตร/วินาที

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของถ่านหินคุณภาพต่ำต่อ ..... 56
การเกิดก๊าซเชื้อเพลิงคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) กับ
อุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิงที่ อัตราการป้อนอากาศ 2.05 เมตร/วินาที

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของถ่านหินคุณภาพต่ำต่อ ..... 57
การเกิดก๊าซเชื้อเพลิงคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) กับ
อุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิงที่ อัตราการป้อนอากาศ 2.75 เมตร/วินาที

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของถ่านหินคุณภาพต่ำต่อการเกิด ..... 59
ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ กับอุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิง
ที่อัตราการป้อนอากาศ 2.05 เมตร/วินาที

**สารบัญภาพ (ต่อ)**

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของถ่านหินคุณภาพต่ำต่อการเกิด ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ กับอุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิง ที่อัตราการป้อนอากาศ 2.75 เมตร/วินาที ..... 60

รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ของอัตราการป้อนอากาศ 2.05เมตร/วินาที กับอุณหภูมิของก๊าซผลิตเชื้อเพลิง ..... 62

รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ของอัตราการป้อนอากาศ 2.75เมตร/วินาที กับอุณหภูมิของก๊าซผลิตเชื้อเพลิง ..... 63