ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน

นางสาว อรุณรัตน์ วุฒิมงคลชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2529

ISBN 974-567-117-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012264

i18266435

Variables Affecting Coal Briquette Quality

Miss Arunratt Wuttimongkolchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1986

ISBN 974-567-117-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน
โดย	นางสาว อรุณรัตน์ วุฒิมงคลชัย
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ
	รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนดุรงค์วรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน

ชื่อนิสิต นางสาว อรุณรัตน์ วุฒิมงคลชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ

รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2529

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงธรรมชาติที่พบมากในประเทศไทย และเริ่มนิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากขึ้น แต่ในการทำเหมืองจะมีเศษถ่านหินเหลือทิ้งประมาณร้อยละ 35 จึงสนใจนำมาศึกษาการทำถ่านหินอัดก้อน โดยใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสานและอัดก้อนด้วยเครื่องอัดก้อนแบบ Double Ring Roll ได้ถ่านหินอัดก้อนรูปไข่ (ovoid) น้ำหนักประมาณ 15-20 กรัมต่อก้อน ศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน คือ ขนาดของถ่านหิน ปริมาณดินเหนียว ปริมาณปูนขาวเพื่อกำจัดซัลเฟอร์ออกไซด์และกลิ่นที่เกิดจากการเผาไหม้และคุณภาพของถ่านหิน โดยใช้ถ่านหินจากแหล่งบ้านปู จังหวัดลำพูน

จากการทดลองพบว่า ถ่านหินขนาดเล็กให้ถ่านหินอัดก้อนที่แข็งแรงกว่าถ่านหินขนาดใหญ่ ขนาดถ่านหินที่เหมาะสมคือ ขนาดรวมทุกช่วงขนาดที่ได้จากการนำถ่านหินไปบดด้วยเครื่อง Hammer Mill ที่มีตะแกรงขนาด 9.5 มม. ซึ่งถูกใช้ในการทดลองขั้นต่อไป ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการผลิต ปริมาณดินเหนียวที่ใช้ขึ้นกับคุณภาพของถ่านหินและคุณภาพของถ่านหินอัดก้อนที่ต้องการ เมื่อเพิ่มปริมาณดินเหนียว ความแข็งแรงของถ่านหินอัดก้อนจะสูงขึ้น ปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมคิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S เท่ากับ 1.5-3 นอกจากนี้ยังพบว่า ถ่านหินที่มีเถ้าในช่วงร้อยละ 15-30 ของน้ำหนักถ่านหินแห้งสามารถนำมาอัดก้อนได้ โดยใช้ส่วนผสมแตกต่างกันไป เมื่อนำถ่านหินอัดก้อนมาทดสอบการนำไปใช้งานกับเตาอั้งโล่ที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง พบว่า ประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของถ่านหินอัดก้อนประมาณร้อยละ 28-30 ซึ่งใกล้เคียงกับถ่านไม้ คือ ประมาณร้อยละ 29 และถ่านหินอัดก้อนที่ได้สามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 2-6 กิโลกรัม

เมื่อทำการทดสอบกับถ่านหินแหล่งอื่น ๆ สามารถสรุปได้ว่าถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ ที่มีเถ้าในช่วงร้อยละ 15-30 ของน้ำหนักถ่านหินแห้ง สามารถนำมาอัดก้อนได้ โดยใช้ส่วนผสมที่แตกต่างกันไป เพื่อให้ได้ถ่านหินอัดก้อนที่มีคุณภาพดี ทั้งในด้านการเผาไหม้ ความแข็งแรง และความสะดวกในการขนย้าย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title Variables Affecting Coal Briquette Quality

Name Miss Arunratt Wuttimongkolchai

Thesis Advisor Associate Professor Somchai Osuwan, Ph.D.

Associate Professor Kunchana Bunyakiat

Department Chemical Technology

Academic Year 1986

ABSTRACT

Coal is abundant in Thailand and is being more widely used in industry. In mining, about 35 % of coal produced is left as coal fines. It is then of interest to produce coal briquettes by kneading coal fines with clay as binder and molding the kneaded blend in a double roll press. The shape of the briquette was described as ovoid, being about 15 to 20 gram per piece. The studied variables that affected coal briquette quality were particle size of coal fines, amount of clay added, amount of lime added to get rid of sulfur oxide and odor from combustion, and types of coal fines used by using coal from Banpu mine at Lumpune.

From experiment, the strength of coal briquettes produced from small coal particles were greater than the strength of that produced from larger coal particles. For practical reason, coal particles obtained by milling in a hammer mill with a 9.5 mm. diameter aperture screen were used in later stages of experiment. The suitable amount of clay used depended on particular type of coal particles and coal briquette quality required. The strength of coal briquette increased when the amount of clay increased. The suitable amount of lime was equivalent to Cao/S mole ratio between 1.5 and 3.0. Coal particles

which had about 15 to 30 % ash content could be briquetted, employing differing proportions of clay and lime.

Combustion performance test of coal briquettes was done in a conventional bucket type stove using wood charcoal as reference fuel. It was found that efficiencies were in the range of 28 to 30 %, comparing with 29 % of wood charcoal. Coal briquettes could stand for 2 to 6 kg. weight during compression test.

Additional tests on other types of coal and lignite led to the conclusion that coal and lignite with about 15 to 30 % ash could be briquetted, by adjusting the amount of clay and lime to produce coal briquette having acceptable quality, in view of strength and combustion performance.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ และรองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลือและอบรมสั่งสอนมาโดยตลอด รวมทั้ง คณาจารย์ และบุคลากร ในภาควิชาเคมีเทคนิคทุก ๆ ท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจน อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ใน การใช้เครื่อง Unconfined Compression Test ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการใช้ห้อง ปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ บริษัท แพร่ลิกไนท์ จำกัด สำนักงานพลังงานแห่งชาติ ที่ให้ตัวอย่างถ่านหิน มาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ และขอขอบคุณหน่วยงานอื่น ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ที่ไม่ได้กล่าวนาม ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณ พี่ เพื่อน น้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิค ที่เป็นกำลังใจสนับสนุน และให้ความช่วยเหลือ ในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ 1

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ชนิดและคุณสมบัติของถ่านหิน 5

2.2 การอัดก้อน 9

2.2.1 กระบวนการผลิตถ่านหินอัดก้อน 11

2.2.2 แบบของถ่านหินอัดก้อน 17

2.2.3 คุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 18

2.3 ตัวประสาน 19

2.4 การกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ 20

2.5 เชื้อเพลิงและเตาในครัวเรือน 24

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26

3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง 32

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง 32

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 32

3.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษา 41

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง 42

3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง 42

3.4.2 วิธีการอัดก้อนและการทดสอบคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน.... 43

บทที่ หน้า

3.4.2.1 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 45
ก. การศึกษาขนาดของถ่านหินที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 45
ข. การศึกษาปริมาณตัวประสานที่ใช้ที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 45
ค. การศึกษาปริมาณปูนขาวที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 48
3.4.2.2 การทดลองอัดก้อนโดยใช้ถ่านหินแหล่งอื่น ๆ 48

4 ผลการทดลอง 50
4.1 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ใช้ 50
4.2 ผลการทดลองอัดก้อนถ่านหินและการทดสอบคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 56
4.2.1 ผลของการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 60
ก. ผลของการศึกษาขนาดของถ่านหินที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 60
ข. ผลของการศึกษาปริมาณตัวประสานที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 66
ค. ผลของการศึกษาปริมาณปูนขาวที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 70
4.2.2 ผลของการทดลองอัดก้อนโดยใช้ถ่านหินแหล่งอื่น ๆ 72

5 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง 76
5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง 76
5.1.1 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ใช้ 76
5.1.2 ผลการทดลองอัดก้อนถ่านหินและการทดสอบคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 76
5.1.2.1 ผลของการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 80

บทที่ หน้า

ก. ผลของการศึกษาขนาดของถ่านหินที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 80
ข. ผลของการศึกษาปริมาณตัวประสานที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 81
ค. ผลของการศึกษาปริมาณปูนขาวที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 83
ง. ผลของการศึกษาคุณภาพของถ่านหินที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน 86
5.1.2.2 ผลของการทดลองอัดก้อนโดยใช้ถ่านหินแหล่งอื่น ๆ 92
5.2 สรุปผลการทดลอง 99
5.3 ข้อเสนอแนะ 101
เอกสารอ้างอิง 103
ภาคผนวก 108
ภาคผนวก ก. การคำนวณหาปริมาณส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เติมลงไปในการทำถ่านหินอัดก้อน 109
ภาคผนวก ข. การคำนวณหาค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อน 110
ภาคผนวก ค. ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน โดยใช้ถ่านหินแหล่งบ้านปูที่มีเถ้าร้อยละ 7.72 เป็นตัวอย่างในการศึกษา 111
ภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในเถ้าของถ่านหินเหมืองบ้านปู 112
ภาคผนวก จ. ตัวอย่างข้อมูลจากการทดลองหาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของถ่านหินอัดก้อน 113
ภาคผนวก ฉ. วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาอั้งโล่ 114
ประวัติผู้เขียน 116

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	การใช้พลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2527	2
2.1	การแบ่งถ่านหินตามศักดิ์ โดยวิธี ASTM D388	7
2.2	ตัวอย่างคุณภาพของถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ ที่สำคัญ ๆ ในประเทศไทย	9
2.3	แสดงผลของความชื้นในการอัดก้อนถ่านลิกไนท์ ตามการทดลองของ Fristche	10
2.4	กำลังการผลิตถ่านหินอัดก้อนของประเทศต่าง ๆ (ล้านตัน)	12
2.5	การเปรียบเทียบคุณภาพของถ่านหินอัดก้อนที่ทำในประเทศอังกฤษและเยอรมัน	18
2.6	ผลการสำรวจปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหุงต้มแยกเป็นประเภทต่าง ๆ ทั่วประเทศ ปี 2523	24
2.7	ผลการศึกษาสำรวจการใช้เตาหุงต้มในครัวเรือนชนบท 50 หมู่บ้าน ทั่วประเทศ ปี 2525	25
2.8	ประสิทธิภาพเตาหุงต้มประเภทต่าง ๆ ที่จำหน่ายในท้องตลาด (ประเทศ-ไทย ปี พ.ศ. 2526)	26
3.1	ลักษณะของเตาอั้งโล่ที่ใช้ในการทดลอง	41
3.2	อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษาขนาดของถ่านหินที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน	46
3.3	อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษาปริมาณดินเหนียวที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน	47
3.4	อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษาปริมาณปูนขาวที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน	49
4.1	ผลการวิเคราะห์ถ่านหินจากเหมืองบ้านปู	51
4.2	ผลการวิเคราะห์ขนาดของถ่านหินจากเหมืองบ้านปูที่บดผ่าน Hammer Mill ที่มีตะแกรงขนาด 9.5 มม.1 ครั้ง	52

ตารางที่ หน้า

4.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ในการศึกษา 53

4.4 ผลการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งบดผ่าน Hammer Mill ที่มีตะแกรงขนาด 9.5 มม.1 ครั้ง 54

4.5 ผลการวิเคราะห์ขนาดของถ่านหินเหมืองบ้านปูขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร 54

4.6 ผลการวิเคราะห์ขนาดของถ่านหินเหมืองบ้านปูขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร 55

4.7 องค์ประกอบของดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสาน 55

4.8 ระยะเวลาที่ถ่านหินอัดก้อนเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ขนาดของถ่านหินต่าง ๆ กัน และปริมาณดินเหนียวต่าง ๆ กัน 58

4.9 ระยะเวลาที่ถ่านหินอัดก้อนเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ปริมาณดินเหนียวต่าง ๆ กัน 59

4.10 ผลของการศึกษาขนาดของถ่านหินที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน B 61

4.11 ผลของการศึกษาขนาดของถ่านหินที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน D 64

4.12 ผลของปริมาณตัวประสานที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน A 67

4.13 ผลของปริมาณตัวประสานที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน B 67

4.14 ผลของปริมาณตัวประสานที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน C 68

4.15 ผลของปริมาณตัวประสานที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน D 68

4.16 ผลของปริมาณปูนขาวที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน A 71

4.17 ผลของปริมาณปูนขาวที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน C 71

4.18 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านหินแหล่งอื่น ๆ ที่ทดลองนำมาอัดก้อน 73

4.19 ผลการวิเคราะห์ขนาดของถ่านหินแหล่งอื่น ๆ ที่ทดลองนำมาอัดก้อนบดผ่าน Hammer Mill ที่มีตะแกรงขนาด 9.5 มม. 1 ครั้ง 74

4.20 คุณภาพของถ่านหินอัดก้อนจากแหล่งอื่น ๆ 75

5.1 ผลของคุณภาพของถ่านหินที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อนในด้านของความแข็งแรง 89

5.2 ผลของคุณภาพของถ่านหินที่มีต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อนในด้านของประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน 89

5.3 การเปรียบเทียบลักษณะการลุกไหม้ของถ่านหินอัดก้อนและถ่านไม้ในเตาอั้งโล่ 93

5.4 เปรียบเทียบการใช้ถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อนเป็นเชื้อเพลิง 101

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โมเลกุลสมมติของถ่านหิน	8
2.2	Couffinhal briquetting press	14
2.3	A double-roll press	15
2.4	กระบวนการอัดก้อนถ่านหิน	16
2.5	รูปร่างของถ่านหินอัดก้อนแบบต่าง ๆ	17
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างศักดิ์ของถ่านหินกับความแข็ง (hardness) ของถ่านหิน และความแข็งแรง (strength) ของถ่านหินอัดก้อน	30
3.1	เครื่องบดถ่านหินชนิด Hammer Mill	33
3.2	เครื่องบดถ่านหินชนิด Ball Mill	33
3.3	ตะแกรงร่อนและเครื่องเขย่า (Sieve Analyser)	35
3.4	เครื่องผสม (Mixer)	36
3.5	เครื่องอัดก้อนแบบ Double Ring Roll	37
3.6	Screw feeder ของเครื่องอัดก้อนแบบ Double Ring Roll	38
3.7	แบบ (mold) ของเครื่องอัดก้อนแบบ Double Ring Roll	39
3.8	เครื่อง Unconfined Compression Test	40
3.9	การหาค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตก โดยใช้เครื่อง Unconfined Compression Test	44
4.1	ถ่านหินอัดก้อนที่ได้จากเครื่องอัดก้อนแบบ Double Ring Roll	57
4.2	น้ำหนักที่ทำให้ก้อนถ่านหินแตกที่ขนาดของถ่านหินต่าง ๆ กัน และปริมาณดินเหนียวต่าง ๆ กัน สำหรับถ่านหิน B ที่มีเถ้าประมาณร้อยละ 20	62
4.3	น้ำหนักที่ทำให้ก้อนถ่านหินแตกที่ขนาดของถ่านหินต่าง ๆ กัน และปริมาณดินเหนียวต่าง ๆ กัน สำหรับถ่านหิน D ที่มีเถ้าประมาณร้อยละ 30	65
4.4	น้ำหนักที่ทำให้ก้อนถ่านหินแตกที่ปริมาณดินเหนียวต่าง ๆ กัน สำหรับถ่านหิน A และ C ที่มีเถ้าประมาณร้อยละ 15 และ 25 ตามลำดับ	69

รูปที่ หน้า

5.1 ร้อยละความชื้นของถ่านหินอัดก้อนเมื่อตากแห้งในอากาศที่ขนาดของถ่านหินต่าง ๆ กัน 78
5.2 ร้อยละความชื้นของถ่านหินอัดก้อนเมื่อตากแห้งในอากาศที่ปริมาณดินเหนียวต่าง ๆ กัน 79
5.3 น้ำหนักที่ทำให้ก้อนถ่านหินแตกที่ปริมาณปูนขาวต่าง ๆ กัน สำหรับถ่านหิน A ที่มีเถ้าประมาณร้อยละ 15 84
5.4 น้ำหนักที่ทำให้ก้อนถ่านหินแตกที่ปริมาณปูนขาวต่าง ๆ กัน สำหรับถ่านหิน C ที่มีเถ้าประมาณร้อยละ 25 85
5.5 ประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานที่ปริมาณปูนขาวต่าง ๆ กัน สำหรับถ่านหิน A ที่มีเถ้าประมาณร้อยละ 15 87
5.6 ประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานที่ปริมาณปูนขาวต่าง ๆ กัน สำหรับถ่านหิน C ที่มีเถ้าประมาณร้อยละ 25 88
5.7 น้ำหนักที่ทำให้ก้อนถ่านหินแตกที่ปริมาณดินเหนียวต่าง ๆ และปริมาณเถ้าในถ่านหินต่าง ๆ กัน 90
5.8 การลุกไหม้ของถ่านไม้ในช่วงเริ่มแรก 94
5.9 การลุกไหม้ของถ่านหินอัดก้อนในช่วงเริ่มแรก 94
5.10 การลุกไหม้ของถ่านไม้ขณะลุกไหม้เต็มที่ 95
5.11 การลุกไหม้ของถ่านหินอัดก้อนขณะลุกไหม้เต็มที่ 95
5.12 เถ้าของถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อน 96
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่ได้รับ ณ ตำแหน่งที่ปากเตาหุงต้มเทียบกับเวลา 97
5.14 ค่าของอุณหภูมิที่วัดตรงตำแหน่งปากเตา วัดเทียบกับเวลา 98