การปรับปรุงคุณภาพเศษถ่านหินโดยวิธีคาร์บอไนเซชัน

นางสาว อนัญญา พจนารถ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2528

ISBN 974-564-415-3

009589
i 18184601

QUALITY IMPROVEMENT OF COAL FINES BY CARBONIZATION

Miss Anunya Potjanart

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1985

ISBN 974-564-415-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงคุณภาพเศษถ่านหินโดยวิธีคาร์บอไนเซชัน

โดย นางสาว อนัญญา พจนารถ

ภาควิชา เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทัศคร)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย โอสุวรรณ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงคุณภาพเศษถ่านหินโดยวิธีคาร์บอไนเซชัน

โดย นางสาว อนัญญา พลนารถ

ภาควิชา เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ

ปีการศึกษา 2528

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การทำเหมืองถ่านหินมีเศษถ่านเหลือทิ้งประมาณร้อยละ 35 ของที่ขุดได้ จึงสนใจนำมาศึกษาการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีคาร์บอไนเซชัน นำไปอัดก้อนผลิตเป็นถ่านสังเคราะห์หรือถ่านไร้ควัน ทั้งยังได้ผลิตผลพลอยได้คือน้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหิน โดยบดเศษถ่านหินจากเหมืองแม่ตีบ จังหวัดลำปาง แยกขนาดนำมาศึกษา 4 ช่วงขนาด คือ 2-7 มม 1-2 มม 0.5-1.0 มม และ 0.25-0.50 มม คาร์บอไนซ์ในรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ที่อุณหภูมิ 300-1,000 องศาเซลเซียส ทุกระดับ 100 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10-25 องศาเซลเซียสต่อนาที หาสภาวะและขนาดของเศษถ่านหินที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์จากปริมาณและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แล้วนำมาคาร์บอไนซ์ในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการเพื่อผลิตถ่านสังเคราะห์อัดก้อน

ผลการคาร์บอไนซ์ในรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์ พบว่าช่วงขนาดที่เหมาะสมคือ 0.5-7.0 มม. คาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส นำมาทดลองผลิตถ่านชาร์ในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ ซึ่งให้ปริมาณถ่านชาร์และก๊าซถ่านหินใกล้เคียงกับการทดลองในรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์ อัดก้อนถ่านชาร์โดยใช้ตัวประสานแป้งเปียกร้อยละ 25 หรือร้อยละ 5.8 ของแป้งมันสำปะหลังในถ่านผลิตถ่านสังเคราะห์รูปไข่ด้วยเครื่องอัดระบบ Double Ring Roll ส่วนตัวประสานแบลคลิกเคอร์ต้องใช้แรงอัดสูงและความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียสอัดเป็นก้อนทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว โดยใช้แบลคลิกเคอร์คิดเป็นปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5.6 ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ถ่านสังเคราะห์ทั้ง 4 ตัวอย่างนี้ให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเตาอั้งโล่เท่ากับถ่านไม้คือร้อยละ 28 และถ่านสังเคราะห์ทั้ง 2 อุณหภูมิไม่ให้ความแตกต่างอย่างชัดเจน สามารถใช้ทดแทนถ่านไม้ได้ถึงแม้ว่ามีค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านไม้ประมาณร้อยละ 35 แต่

ข้อดีของถ่านสังเคราะห์คือมีรูปร่างเหมือนกันทำให้สะดวกในการใช้งานและขนส่ง เถ้ารวมตัวเป็นก้อนไม่ปลิวฟุ้งเหมือนถ่านไม้ ทำให้บริเวณที่เผาไหม้สะอาดและไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะเช่นการเผาไหม้ถ่านหิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Tittle	Quality Improvement of Coal Fines by Carbonization
Name	Miss Anunya Potjanart
Thesis Advisor	Associate Professor Kunchana Bunyakiat
	Associate Professor Somchai Osuwan, Ph.D
Department	Chemical Technology
Academic Year	1985

ABSTRACT

In mining, about 35 % coal produced is left as coal fines. It is then of interest to improve the quality of coal fines by carbonization to produce a better fuel. During production tar oil and coal gas are given off as byproducts.

Four size ranges of coal fines (2-7 mm., 1-2 mm., 0.5-1.0 mm. and 0.25-0.50 mm.) from Mae Tip mine, Lampang Province were carbonized in a Modified Fischer Assay retort at temperatures from 300 to 1,000^{o}C at 100^{o}C intervals and a rate about 10-25^{o}C/min. The optimum condition obtained was employed further in a laboratory scale retort. The char produced was later briquetted to produce smokeless fuel.

Optimum results from Fischer Assay retorting, i.e., coal fines of 0.5-7.0 mm. and 600 and 700^{o}C were chosen to produce char in a laboratory scale retort which produced nearly the same char and coal gas yields as in Fischer Assay retort. Two methods were used to produce briquettes from coal char. One employs a double ring roll machine with starch as a binder (25 % paste or 5.8 % starch), producing ovoid briquettes. The other employs a hydraulic press (105 MN/m^{2} and 100^{o}Celsius) with black liquor as a binder (5.6 % total Solid content)

producing 1-in diameter cylindrical briquettes.

Combustion performance test carried out using 4 samples of briquettes and wood charcoal as reference fuel in a bucket stove show little difference between them. Under identical conditions, thermal efficiency is in the range of 28 %. Although smokeless fuels produced have 35 % lower heating values than that of wood charcoal, regarding its similar form and sizes, it is clearly a better fuel for transport and use. The smokeless fuel produces a better environment because its ash is not friable but adheres to its original form.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 2 ท่าน คือ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ และ รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลือ และอบรมสั่งสอนมาโดยตลอด รวมทั้งคณาจารย์ในภาควิชาเคมีเทคนิคทุก ๆ ท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณหน่วยงานต่าง ๆ ที่กรุณาให้ความร่วมมือ กล่าวคือ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการวิเคราะห์ค่าความร้อน ภาควิชาธรณีวิทยา และภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ใช้เครื่องบดถ่านหิน และอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และได้รับความช่วยเหลืออย่างดีในการค้นข้อมูลจากกองเชื้อเพลิงธรรมชาติ กรมทรัพยากรธรณีและห้องสมุดกรมวิทยาศาสตร์บริการ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิค

วิทยานิพนธ์นี้จะไม่สามารถสำเร็จลงได้หากไม่ได้รับการสนับสนุนด้านเงินทุนวิจัย และตัวอย่างถ่านหินจากบริษัทแพร่ลิกไนท์ จำกัด ตลอดการทดลองและเงินทุนสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอได้รับความขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้อง ๆ ที่เป็นกำลังใจสนับสนุน และช่วยเหลือการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย . . . . . ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ . . . . . จ

กิตติกรรมประกาศ . . . . . ช

สารบัญตาราง . . . . . ฏ

สารบัญรูป . . . . . ฒ

สารบัญภาพ . . . . . ด

บทที่

1. บทนำ 1

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 การเกิดถ่านหิน 8

2.2 การวิเคราะห์ถ่านหิน 12

2.3 การแปรรูปถ่านหิน 15

2.4 การอัดก้อน 25

2.5 สำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่ผ่านมา 30

3. อุปกรณ์และวิธีวิจัย 34

3.1 ขั้นตอนการทดลอง 34

3.2 การทดลองในรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์ 35

3.3 การทดลองในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ 52

3.4 การทดลองผลิตถ่านสังเคราะห์โดยการอัดก้อนและทดลองใช้ . 57

4. ผลการทดลอง 63

4.1 ผลการทดลองคาร์บอไนซ์ในรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ . . 63

4.2 ผลการทดลองในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ 95

4.3 ผลการทดลองผลิตถ่านสังเคราะห์และคุณสมบัติในการเผาไหม้ . 103

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	5. อภิปรายผลการทดลอง	114
	6. สรุปผลการทดลอง	126
เอกสารอ้างอิง		128
ประวัติ		133

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	เหมืองถ่านหินที่มีการขุดมาใช้งาน แสดงที่ตั้ง, เจ้าของ, ปริมาณสำรอง และศักดิ์ (rank) ตามมาตรฐาน ASTM	3
2.1	แผนผังการเกิดถ่านหิน	10
2.2	การวิเคราะห์ถ่านหินเรียงลำดับจากพีทถึงแอนทราไซต์	11
2.3	การจัดแบ่งถ่านหินตามศักดิ์โดยวิธี ASTM D 388	13
2.4	ปริมาณผลิตภัณฑ์แรกและองค์ประกอบเป็นร้อยละต่อน้ำหนักของถ่านหินซึ่งเป็นผลจากการคาร์บอไนซ์ถ่านหิน Pratt ที่อุณหภูมิ 500 ถึง 1,100 องศาเซลเซียส	21
2.5	กระบวนการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิต่ำและการผลิตโค้กจากถ่านหิน.	24
2.6	ผลของความชื้นในการอัดก้อนถ่านลิกไนท์ ตามการทดลองของ Fritsche	25
2.7	กระบวนการผลิตถ่านอัดก้อนหลาย ๆ กระบวนการในแต่ละประเทศ	27
3.1	รายการวิธีวิเคราะห์อ้างอิง	42
4.1	คุณสมบัติของถ่านหินดิบช่วงขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.25-7.00 มิลลิเมตร	64
4.2	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิต่าง ๆ	65
4.3	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 1-2 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิต่าง ๆ	65
4.4	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 0.5-1.0 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิต่าง ๆ	66
4.5	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิต่าง ๆ	66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.6 สมดุลมวลสารของการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 76

4.7 สมดุลมวลสารของการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 1-2 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 76

4.8 สมดุลมวลสารของการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 0.5-1.0 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิต่าง ๆ 77

4.9 สมดุลมวลสารของการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิต่าง ๆ 77

4.10 คุณสมบัติของน้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหินจากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหิน ช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตร 80

4.11 คุณสมบัติของน้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหินจากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหิน ช่วงขนาด 1-2 มิลลิเมตร 80

4.12 คุณสมบัติของน้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหินจากการคาร์บอไนซ์ถ่านหินช่วง ขนาด 0.5-1.0 มิลลิเมตร 81

4.13 คุณสมบัติของน้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหินจากการคาร์บอไนซ์ถ่านหินช่วง ขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตร 81

4.14 คุณสมบัติของถ่านชาร์จากเศษถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตร คาร์-บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 82

4.15 คุณสมบัติของถ่านชาร์จากเศษถ่านหินช่วงขนาด 1-2 มิลลิเมตร คาร์-บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 83

4.16 คุณสมบัติของถ่านชาร์จากเศษถ่านหินช่วงขนาด 0.5-1.0 มิลลิเมตร คาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 84

4.17 คุณสมบัติของถ่านชาร์จากเศษถ่านหินช่วงขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตร คาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.18 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินรวมขนาด 0.5-7.0 มิลลิเมตร ในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ 96

4.19 สมดุลมวลสารของการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินรวมขนาด 0.5-7.0 มิลลิเมตร เป็นร้อยละในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ เทียบกับผลจากการแยกขนาดในรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ 97

4.20 คุณสมบัติของน้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหินจากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินรวมขนาด 0.5-7.0 มิลลิเมตร ในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ เทียบกับผลจากการแยกขนาดในรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ . . 99

4.21 คุณสมบัติของถ่านหินดิบรวมขนาด 0.5-7.0 มิลลิเมตร และถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ เทียบกับผลจากการแยกขนาดในรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ . . 100

4.22 คุณสมบัติของถ่านหินดิบรวมขนาด 0.5-7.0 มิลลิเมตร และถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ เทียบกับผลจากการแยกขนาดในรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ . . 101

4.23 วิเคราะห์ขนาดของถ่านหินและถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียสแบบรวมขนาด 102

4.24 ความหนาแน่นโดยการแทนที่น้ำ และ ค่ากำลังต้านแรงกด และน้ำหนักที่ทำให้ถ่านสังเคราะห์แตก 104

4.25 คุณสมบัติของถ่านสังเคราะห์และถ่านไม้ เทียบกับถ่านชาร์รวมขนาดจากตารางที่ 4.21 และ 4.22 105

4.26 ผลการทดลองเผาไหม้ถ่านสังเคราะห์เทียบกับถ่านไม้ 107

5.1 เปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกับกระบวนการต่าง ๆ 115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.2	เปรียบเทียบผลการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสโดยเฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงขนาด กับกระบวนการของ Brennstoff-Technik และ Parker	116
5.3	เปรียบเทียบผลการทดลองคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส โดยเฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงขนาดกับผลผลิตจากกระบวนการต่าง ๆ ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,000 องศาเซลเซียสเช่นกัน . .	117
5.4	เปรียบเทียบค่าความร้อนของน้ำมันทาร์จากกระบวนการต่าง ๆ .	119
5.5	สมดุลความร้อนของการคาร์บอไนซ์ถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าความร้อนของถ่านหินเริ่มแรกเท่ากับ 391.3 กิโลแคลอรี.	121
5.6	สมดุลความร้อนของการคาร์บอไนซ์ถ่านหินช่วงขนาด 1-2 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าความร้อนของถ่านหินเริ่มแรกเท่ากับ 407.4 กิโลแคลอรี.	121
5.7	สมดุลความร้อนของการคาร์บอไนซ์ถ่านหินช่วงขนาด 0.5-1.0 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าความร้อนของถ่านหินเริ่มแรกเท่ากับ 398.4 กิโลแคลอรี	122
5.8	สมดุลความร้อนของการคาร์บอไนซ์ถ่านหินช่วงขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าความร้อนของถ่านหินเริ่มแรกเท่ากับ 362.7 กิโลแคลอรี	122
5.9	คุณสมบัติของถ่านลังเคราะห์จากการทดลองและจากประเทศต่าง ๆ	125

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ปริมาณการผลิตถ่านหินในประเทศไทยในแต่ละปี	4
1.2	การใช้พลังงานของประเทศไทยปี พ.ศ. 2523	5
2.1	โมเลกุลล่มมติของถ่านหิน	17
2.2	การแตกตัวของโมเลกุลล่มมติของถ่านหินขณะเกิดการล่ลายตัว เมื่อได้รับความร้อน	18
2.3	ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณผลิตภัณฑ์แรกแต่ละตัว ในการคาร์บอไนซ์ถ่านหิน Pratt	22
2.4	ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณผลิตภัณฑ์แรกรวมในรูปเดียวกัน ในการคาร์บอไนซ์ถ่านหิน Pratt	22
2.5	เตาแบบ Beehive oven ที่ Isabella plant ของบริษัท Hecla Coal and Coke	30
3.1	แล่ดงรีทอร์ทและล่วนประกอบภายใน	37
3.2	เค้ารูปแล่ดงรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ และอุปกรณ์ดักก๊าซ และน้ำมันก่อนเข้าลู่ขวดเก็บก๊าซ	39
3.3	ล่วนประกอบของเครื่องหาค่าความร้อนแบบ Boys Calorimeter.	44
3.4	เครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติรุ่น CA-3 ของยีมัตล่	49
3.5	แผนผังการทำงานของเครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ	50
3.6	ล่วนประกอบภายในของเครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ	51
3.7	แผนภาพแล่ดงชุดเครื่องมือขนาดห้องปฏิบัติการ	56
4.1	ความล้มพันธ์ระหว่างปริมาตรก๊าซถ่านหินจากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ	68
4.2	ความล้มพันธ์ระหว่างปริมาตรของเหลวใล่จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ	69
4.3	ความล้มพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำมันทาร์จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ	70
4.4	ความล้มพันธ์ระหว่างปริมาณถ่านชาร์จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ	71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตรกับอุณหภูมิ	72
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 1-2 มิลลิเมตรกับอุณหภูมิ	73
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 0.5-1.0 มิลลิเมตรกับอุณหภูมิ	74
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตรกับอุณหภูมิ	75
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสูญเสียในการคาร์บอไนซ์กับอุณหภูมิ	78
4.10	การวิเคราะห์แบบประมาณของเศษถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตร และถ่านชาร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	86
4.11	การวิเคราะห์แบบประมาณของเศษถ่านหินช่วงขนาด 1-2 มิลลิเมตร และถ่านชาร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	87
4.12	การวิเคราะห์แบบประมาณของเศษถ่านหินช่วงขนาด 0.5-1.0 มิลลิเมตร และถ่านชาร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	88
4.13	การวิเคราะห์แบบประมาณของเศษถ่านหินช่วงขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตร และถ่านชาร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	89
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างสารระเหยของเศษถ่านหินและถ่านชาร์ ช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ	90
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนคงตัวของเศษถ่านหินและถ่านชาร์ ช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ	91
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างเถ้าของเศษถ่านหินและถ่านชาร์ช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ	92
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนคาร์บอนคงตัว/สารระเหยของเศษถ่านหินและถ่านชาร์ช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ	94

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

3.1 รีทอร์ทแบบฟิชเชอร์เมื่อประกอบเสร็จแล้ว 35

3.2 ส่วนประกอบภายในรีทอร์ทคือ แผ่นกระจายความร้อน 3 แผ่น ประเก็น และฝารีทอร์ท 36

3.3 ชุดเครื่องมือทดลองพร้อมเครื่องทำความเย็นและปั๊มน้ำเข้าเครื่องควบแน่น 38

3.4 การจัดวางเครื่องมือวัดค่าความร้อนของก๊าซถ่านหิน จากทางด้านซ้ายมือคือเครื่องหาค่าความร้อน เครื่องวัดปริมาตรก๊าซแบบเปียก เครื่องวัดความดัน และขวดเก็บก๊าซตามลำดับ 45

3.5 เตาเผาไฟฟ้า 47

3.6 รีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการประกอบเสร็จแล้ว 53

3.7 ส่วนประกอบของรีทอร์ทและชิ้นส่วนก่อนการประกอบ 53

3.8 แสดงเตาคิวโพลา เมื่อบรรจุรีทอร์ทและติดตั้งเทอร์โมคับเปิลแล้ว ช่องทางขวามือเป็นทางเดินของฟลูก๊าซจากหัวเผาไหม้ 54

3.9 แสดงหัวเผาก๊าซหุงต้มให้ความร้อนแก่เตา และรีทอร์ท 54

3.10 ชุดเครื่องมือทดลองขนาดห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยเตาคิวโพลา เครื่องควบแน่น ถังดักน้ำมัน และถังเก็บก๊าซ 55

3.11 เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ใส่แบบอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และมีลวดไฟฟ้าให้ความร้อนแก่แบบอัด 58

3.12 ตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ที่อัดได้จากเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ใช้แบลคลิกเคอร์ เป็นตัวประสาน 58

3.13 เครื่องอัดแบบ Double ring roll 60

3.14 แบบอัดรูปไข่ในเครื่องอัดแบบ Double ring roll 60

3.15 ตัวอย่างรูปไข่ จากเครื่องอัดแบบ Double ring roll ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน 60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.1 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการศึกษาการลุกไหม้ของถ่านในเตาอั้งโล่ . . 108
4.2 การลุกไหม้ของถ่านไม้ 109
4.3 เถ้าของถ่านไม้ 109
4.4 การลุกไหม้ของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 องศา เซลเซียส ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน 110
4.5 เถ้าของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 องศา เซลเซียส ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน 110
4.6 การลุกไหม้ของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 700 องศา เซลเซียส ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน 111
4.7 เถ้าของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 700 องศา เซลเซียส ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน 111
4.8 การลุกไหม้ของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 องศา เซลเซียส ใช้แบลคลิกเคอร์เป็นตัวประสาน 112
4.9 เถ้าของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 องศา เซลเซียส ใช้แบลคลิกเคอร์เป็นตัวประสาน 112
4.10 การลุกไหม้ของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 700 องศา เซลเซียส ใช้แบลคลิกเคอร์เป็นตัวประสาน 113
4.11 เถ้าของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 700 องศา เซลเซียส ใช้แบลคลิกเคอร์เป็นตัวประสาน 113

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย