

การขจัดกำมะถันในด้านหินอัคนีโดยใช้ปูนขาว



นางสาว ดวงพร อีร์ภาพไพสิฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530


ISBN 974-567-813-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

013025

T 10299488

COAL BRIQUETTE DESULFURIZATION BY LIME



Miss Daungporn Theerapabpisit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-567-813-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การช้จัดกำมะถันในด้านหินอัคนีโดยใช่ปูนขาว
โดย นางสาว ดวงพร ชีรภาพไพสิฐ
ภาควิชา เกมมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ดาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุญเกียรติ)

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ แม้น อมรสิทธิ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทศกร)

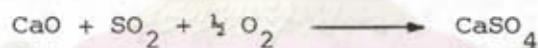
ศูนย์วิทยานิพนธ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การขจัดกำมะถันในด้านหินอัคนีโดยใช้ปูนขาว
 ชื่อนิสิต นางสาว ดวงพร ชีรภาพไพสิฐ
 อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ
 ภาควิชา เคมีเทคนิค
 ปีการศึกษา 2530



บทคัดย่อ

ด้านหินเป็นเชื้อเพลิงที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท และเศษด้านหินเหลือทิ้งก็สามารถนำมาอัคนีเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อนำด้านหินอัคนีมาใช้งานคือ มลภาวะจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลมาจากกำมะถันในด้านหิน จึงได้ศึกษาวิจัยถึงการขจัดกำมะถันในด้านหินอัคนีโดยเติมปูนขาวในอัตราส่วนต่าง ๆ แคลเซียมออกไซด์ในปูนขาวจะทำปฏิกิริยาจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ ตามสมการ;



CaSO_4 ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในเต้าหลังการเผาไหม้กันเอง งานวิจัยนี้ศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อการขจัดกำมะถันเมื่อทำการเผาไหม้ด้านหินอัคนีในสภาวะการใช้งานจริงในเตาหุงต้ม ตัวแปรดังกล่าวคือ อัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S ตั้งแต่ 0 ถึง 4, ร้อยละดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานตั้งแต่ 0 ถึง 40 และคุณภาพของด้านหินจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ แหล่งแม่เมาะ, บางปูคา, คลอง-หวายเล็ก, บ้านปู และป่าคา

จากผลการทดลองพบว่า ปูนขาวสามารถทำหน้าที่ขจัดกำมะถันในด้านหินอัคนีได้ดีมาก กล่าวคือ ด้านหินจากทุกแหล่งเมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาว หรือเพิ่มอัตราส่วน CaO/S ในด้านหินอัคนี กำมะถันที่ถูกปลดปล่อยไปในบรรยากาศ จะเป็นมลภาวะถูกปูนขาวจับมาอยู่ในเต้าในรูปสารประกอบซัลเฟต จึงทำให้กำมะถันรวม และกำมะถันซัลเฟตที่เหลือในเต้ามีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อัตราการเพิ่มขึ้นนี้จะช้าลงเมื่อ CaO/S มากกว่า 2 และคงที่เมื่อมีกำมะถันในเต้าประมาณร้อยละ 90-95 เทียบกับกำมะถันรวมในด้านหินเริ่มต้น แสดงว่ากำมะถันจากด้านหินออกไปในบรรยากาศเพียงร้อยละ 5-10 เท่านั้น สำหรับดินเหนียวในด้านหินอัคนีนั้น มีส่วนช่วยในการขจัดกำมะถันบ้าง

เล็กน้อย คือ เมื่อเพิ่มดินเหนียวจากร้อยละ 0 เป็น 40 กว้จะดันรวมในเต้าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10-15 และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ แนวโน้มเป็นไปในทำนองเดียวกัน

โดยสรุปแล้ว ถ่านหินอัดก้อนจากแหล่งที่สำคัญในประเทศไทย อัตราส่วน CaO/S ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2.0-2.5 และดินเหนียวร้อยละ 20 ซึ่งจะให้ถ่านหินอัดก้อนคุณภาพดี ประสิทธิภาพการใช้งานสูง ในขณะเดียวกันไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมด้วย



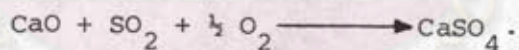
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Thesis Title Coal Briquette Desulfurization by Lime
Name Miss Daungporn Theerapabpisit
Thesis Advisor Associate Professor Somchai Osuwan, Ph.D.
Department Chemical Technology
Academic Year 1987

ABSTRACT

Coal is widely used as fuel in various industries, and coal fines left over can be made into coal briquettes. The combustion of coal briquettes causes corrosion and air pollution problems, which is due to sulfur in coal. For these reasons, coal briquette desulfurization by the use of lime is studied. CaO in lime reacts with SO₂ which occurs during combustion according to the equation;



The resulting CaSO₄ will remain in the ash after combustion. In this research, the variables that affect the desulfurization of coal briquettes at true operating conditions in cooking stove were studied. They were ; amount of lime added in terms of mole ratio of CaO/S from 0 to 4, percentage of clay used as binder from 0 to 40, and types of coal fines from various sources; Mae Moh, Bang Poo Dum, Klong Wai Lek, Ban Poo, and Pah Kha,

The result shows that lime is very effective for coal briquette desulfurization. When amount of lime added (mole ratio of CaO/S) was increased, the amount of sulfur absorbed by lime in the form of calcium

sulfate in ash increased rapidly and its rate became slower at CaO/S mole ratio greater than 2. Total sulfur retained in ash became constant at approximately 90-95%, based on total sulfur initially present in coal. In other words sulfur emission to the atmosphere was only 5-10%. The effect of clay to desulfurization was less, with the amount of clay added up to 40%, sulfur retained in ash increased by 10 to 15%. Comparison among various types of coal led to the conclusion that desulfurization trends were similar.

In conclusion, it was found that coal briquettes from various important sources in Thailand could be well desulfurized by lime. The recommended values of CaO/S mole ratio is in the range 2.0-2.5 with 20% clay addition.



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ ที่ได้ให้คำปรึกษา
แนะนำช่วยเหลือ และอบรมสั่งสอนมาโดยตลอด รวมทั้งคณาจารย์ และบุคลากรในภาควิชา
เคมีเทคนิคทุก ๆ ท่านที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติ-
การ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี และขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
บริษัท แพร่ลิทไนท์ จำกัด และสำนักงานพลังงานแห่งชาติ ที่ได้ตัวอย่างดำเนินเพื่อทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิค ที่เป็นกำลังใจสนับสนุน
และให้ความร่วมมือช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนเป็นกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จ
การศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ฅ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ชนิดและคุณสมบัติของถ่านหิน	5
2.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของถ่านหิน	8
2.3 กำมะถันในถ่านหิน	14
2.4 การอัดก้อนถ่านหิน (Briquetting)	20
2.4.1 กระบวนการอัดก้อนถ่านหิน	21
2.4.2 แบบของถ่านหินอัดก้อน (Types of briquettes) ...	23
2.4.3 คุณภาพของถ่านหินอัดก้อน (Quality of briquettes) ...	23
2.4.4 ตัวประสาน (Binder)	24
2.5 การซัดกำมะถันในถ่านหิน	25
2.6 การซัดกำมะถันในถ่านหินโดยใช้ปูนขาว	28
2.6.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Mechanism of reaction) ...	29
2.6.2 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาเคมี	33
2.6.3 การพัฒนาวิธีการซัดกำมะถันในถ่านหินโดยใช้ปูนขาว ...	35
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36

3.	เครื่องมือและวิธีการทดลอง	40
3.1	วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	40
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	40
3.3	ตัวแปรที่ทำการศึกษา	44
3.4	ขั้นตอนและวิธีทำการทดลอง	45
3.4.1	การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์เบื้องต้น	45
3.4.2	การอัดก้อนถ่านหิน	45
3.4.3	การนำถ่านหินอัดก้อนมาจุดเตาเพื่อหาประสิทธิภาพการใช้งาน	46
3.4.4	การวิเคราะห์เถ้า	46
3.4.5	วิเคราะห์และสรุปผล	47
4.	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	49
4.1	ผลการวิเคราะห์ถ่านหินเบื้องต้น	49
4.2	ผลการวิเคราะห์ดินเหนียวและปูนขาว	51
4.3	ผลการวิเคราะห์ถ่านหินอัดก้อนและประสิทธิภาพการใช้งาน	52
4.3.1	ผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน	52
4.3.2	ผลของร้อยละดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน	56
4.4	ผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อการช้ดักกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนโดย ใช้ปูนขาว	59
4.4.1	ผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล)	60
ก.	ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ (จ.ลำปาง)	60
ข.	ถ่านหินแหล่งบางปุดำ (จ.กระบี่)	63
ค.	ถ่านหินแหล่งคลองทวายเล็ก (จ.กระบี่)	66
ง.	ถ่านหินแหล่งบ้านปู (จ.ลำพูน)	69
จ.	ถ่านหินแหล่งป่าคา (จ.ลำพูน)	72

บทที่	หน้า
4.4.2 ผลของร้อยละดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสาน	75
ก. ด่านหินแหล่งแม่เมาะ (จ.ลำปาง)	75
ข. ด่านหินแหล่งคลองห้วยเล็ก (จ.กระบี่)	79
ค. ด่านหินแหล่งบ้านปู้ (จ.ลำพูน)	81
4.5 การเปรียบเทียบผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่ต้องการ ซจคกำมะถันในด่านหินแหล่งต่าง ๆ	84
4.6 การเปรียบเทียบผลของดินเหนียวที่ต้องการซจคกำมะถันในด่านหิน แหล่งต่าง ๆ	91
5. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	94
5.1 สรุปผลการทดลอง	94
5.2 ข้อเสนอแนะ	97
เอกสารอ้างอิง	98
ภาคผนวก	103
ภาคผนวก ก	104
ภาคผนวก ข	114
ภาคผนวก ค	115
ภาคผนวก ง	116
ภาคผนวก จ	117
ประวัติผู้เขียน	124

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แหล่งด้านหินและปริมาณสำรองในประเทศไทย	2
2.1 การแบ่งด้านหินตามศักดิ์โดยวิธี ASTM D 388	7
2.2 อัตราส่วนโดยน้ำหนักอะตอมของธาตุในด้านหินศักดิ์ต่าง ๆ	10
2.3 แร่ธาตุส่วนใหญ่ที่พบในด้านหิน	13
2.4 รูปแบบกำมะถันในด้านหินบิหมินส์จากแหล่งต่าง ๆ ในโลก	19
3.1 ด้านหินอัคน้ำก่อนเมื่อทำการศึกษาผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ร้อยละของคินเหนียวคงที่ = 20	48
3.2 ด้านหินอัคน้ำก่อนเมื่อทำการศึกษาผลของร้อยละคินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) คงที่ = 2	48
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของด้านหินแหล่งต่าง ๆ	50
4.2 องค์ประกอบของคินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสาน	51
4.3 ผลการวิเคราะห์ด้านหินอัคน้ำก่อนและประสิทธิภาพการใช้งานของด้านหินแหล่งต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) โดยคงที่ร้อยละของคินเหนียว = 20	53
4.4 ผลการวิเคราะห์ด้านหินอัคน้ำก่อนและประสิทธิภาพการใช้งานของด้านหินแหล่งต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของคินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสาน โดยคงที่อัตราส่วน CaO/S = 2	57
4.5 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินแม่เมาะ (MM) และเข้าจากการเผาไหม้ด้านหินอัคน้ำก่อนที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละคินเหนียว = 20	60
4.6 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินแม่เมาะ (MM) และเข้าจากการเผาไหม้ด้านหินอัคน้ำก่อนที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละคินเหนียว = 20 และเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในด้านหินก่อนการเผาไหม้ = 100	61

4.7	ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินบางปูดำ (PD) และ เข้าจากการเผาไหม้ด้านหินอัคนีที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20	64
4.8	ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินบางปูดำ (PD) และเข้าจากการเผาไหม้ด้านหินอัคนีที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20 และเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในด้านหิน ก่อนการเผาไหม้ = 100	64
4.9	ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินคลองหวายเล็ก (KV) และเข้าจากการเผาไหม้ด้านหินอัคนีที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20	67
4.10	ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินคลองหวายเล็ก (KV) และเข้าจากการเผาไหม้ด้านหินอัคนีที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20 และเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมใน ด้านหินก่อนการเผาไหม้ = 100	67
4.11	ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินบ้านปู (BP) และเข้า จากการเผาไหม้ด้านหินอัคนีที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดย คงที่ร้อยละดินเหนียว = 20	70
4.12	ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินบ้านปู (BP) และเข้า จากการเผาไหม้ด้านหินอัคนีที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดย คงที่ร้อยละดินเหนียว = 20 และเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในด้านหินก่อน การเผาไหม้ = 100	70
4.13	ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินป่าคา (PK) และเข้า จากการเผาไหม้ด้านหินอัคนีที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20	72
4.14	ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินป่าคา (PK) และเข้า จากการเผาไหม้ด้านหินอัคนีที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดย คงที่ร้อยละดินเหนียว = 20 และเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในด้านหินก่อน การเผาไหม้ = 100	73

ตารางที่	หน้า
4.15 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินแหล่งแม่เมาะ (MM) และเข้าจากการเผาไหม้ด้านหินอัคน้ำที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ โดยคงที่ อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 2	76
4.16 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินแหล่งแม่เมาะ (MM) และเข้าจากการเผาไหม้ด้านหินอัคน้ำที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ โดยคงที่ อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 2 และเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในด้านหินก่อนการเผาไหม้ = 100	76
4.17 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินแหล่งคลองหวายเล็ก (KV) และเข้าจากการเผาไหม้ด้านหินอัคน้ำที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ โดยคงที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 2	79
4.18 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินแหล่งคลองหวายเล็ก (KV) และเข้าจากการเผาไหม้ด้านหินอัคน้ำที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ โดยคงที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 2 และเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในด้านหินก่อนการเผาไหม้ = 100	79
4.19 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินแหล่งบ้านปู (BP) และเข้าจากการเผาไหม้ด้านหินอัคน้ำที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ โดยคงที่ อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 2	82
4.20 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในด้านหินแหล่งบ้านปู (BP) และเข้าจากการเผาไหม้ด้านหินอัคน้ำที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ โดยคงที่ อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 2 และเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในด้านหินก่อนการเผาไหม้ = 100	82
4.21 ผลการเปรียบเทียบกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในเข้าของด้านหินแหล่งต่าง ๆ ที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ตั้งแต่ 0 ถึง 4 โดยเทียบให้กำมะถันรวมในด้านหินเริ่มต้นของแต่ละแหล่ง = 100 (ร้อยละดินเหนียวคงที่ = 20)	85

ตารางที่	หน้า
4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่า p ที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ ของ ถ่านหินที่นำมาศึกษา 5 แหล่ง ร้อยละคินเทนิยวคองที่ = 20	89
4.23 ผลการเปรียบเทียบปริมาณกำมะถันรวม และรูปแบบของกำมะถันในเถ้าของ ถ่านหินแหล่งต่าง ๆ ที่ร้อยละคินเทนิยวคองตั้งแต่ 0 ถึง 40 โดยเทียบให้ กำมะถันรวมในถ่านหินเริ่มต้นของแต่ละแหล่ง = 100 (อัตราส่วน CaO/S คองที่ = 2)	92



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โมเลกุลสมมติของถ่านหิน	9
2.2 ตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ในถ่านหิน	11
2.3 โครงสร้างอินทรีย์ของถ่านหิน	12
2.4 รูปแบบจำลองโครงสร้างผลึกของสารประกอบอินทรีย์ในถ่านหิน	12
2.5 ลักษณะโครงสร้างของกำมะถันอินทรีย์ที่มีสารประกอบพวก sulfide และ heterocyclic ring ในโครงสร้างของถ่านหิน	17
2.6 ลักษณะโครงสร้างของกำมะถันอินทรีย์ตามแนวความคิดของ W.H. Wiser มีสารประกอบ disulfide ในโครงสร้างถ่านหิน	18
2.7 A double roll press	22
2.8 รูปร่างของถ่านหินอัดก้อนแบบต่าง ๆ	23
3.1 เครื่องบดถ่านหินชนิด Hammer Mill	41
3.2 เครื่องบดถ่านหินชนิด Ball Mill	41
3.3 เครื่องผสม (Mixer)	43
3.4 เครื่องอัดก้อนถ่านหินแบบ Double ring roll	43
4.1 แสดงผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน ..	54
4.2 แสดงผลของร้อยละปูนขาวในถ่านหินอัดก้อนที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน ...	55
4.3 แสดงผลของร้อยละดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน .	58
4.4 แสดงผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเต้าของถ่านหินอัดก้อนแหล่งแม่เมาะ	62
4.5 แสดงผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเต้าของถ่านหินอัดก้อนแหล่งบางปึก	65
4.6 แสดงผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเต้าของถ่านหินอัดก้อนแหล่งคลองหวายเล็ก	68
4.7 แสดงผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเต้าของถ่านหินอัดก้อนแหล่งบ้านปู	71

รูปที่	หน้า
4.8 แสดงผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเถ้าของ ถ่านหินอัดก้อนแหล่งป่าคา	74
4.9 แสดงผลของร้อยละดินเหนียวที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเถ้าของถ่านหินแหล่ง แม่เมาะ	77
4.10 แสดงผลของร้อยละดินเหนียวที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเถ้าของถ่านหินแหล่ง คลองหวายเล็ก	80
4.11 แสดงผลของร้อยละดินเหนียวที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเถ้าของถ่านหินแหล่ง บ้านบุ	83
4.12 แสดงผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) กับร้อยละกำมะถันรวมในเถ้าของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ	86
4.13 แนวโน้มเฉลี่ยของความสัมพันธระหว่างอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) กับ ร้อยละกำมะถันรวมในเถ้าของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ	88
4.14 แสดงผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่า P กับอัตราส่วน CaO/S (โดย โมล) ของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ	90
4.15 แสดงผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละดินเหนียวกับร้อยละ กำมะถันรวมในเถ้าของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ	93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย