การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนในเตาหุงต้มในครัวเรือน

นายโปรดปราน สิริธีรศาสน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ. ศ. 2539

ISBN 974-633-769-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17626037

SULFUR DIOXIDE AND NO_x EMISSIONS DURING COAL BRIQUETTE BURNING IN DOMESTIC STOVE

Mr. Prodpran Siritheerasas

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-769-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนในเตาหุงต้มในครัวเรือน
โดย	นายโปรดปราน สิริธีรศาสน์
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร. สมชาย โอสุวรรณ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พล สาเกทอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ศาสตราจารย์ ดร. สมชาย โอสุวรรณ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุเมธ ชวเดช)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรดปราน สิริธีรศาสน์ : การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนในเตาหุงต้มในครัวเรือน (SULFUR DIOXIDE AND NO_x EMISSIONS DURING COAL BRIQUETTE BURNING IN DOMESTIC STOVE) อ. ที่ปรึกษา : รศ. กัญจนา บุณยเกียรติ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ศ. ดร. สมชาย โอสุวรรณ, 105 หน้า.ISBN 974-633-769-6

งานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้ของถ่านหินอัดก้อนที่ใช้ในเตาหุงต้มในครัวเรือน และเปรียบเทียบการใช้งานของถ่านหินอัดก้อนกับถ่านไม้และไม้ฟืน โดยถ่านหินดิบที่นำมาอัดก้อนเป็นถ่านหินจากแหล่งบ้านปู 2 ตัวอย่าง คือ บ้านปู 1 และบ้านปู 2 ซึ่งมีปริมาณกำมะถันรวมเท่ากับ 1.16 และ 0.87 ตามลำดับ และอยู่ในศักดิ์ ซับบิทูมินัส ซี ทั้งสองตัวอย่าง และถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ 2 ตัวอย่าง คือ แม่เมาะ 1 และแม่เมาะ 2 ซึ่งมีปริมาณกำมะถันรวมเท่ากับ 3.76 และ 6.73 ตามลำดับ และอยู่ในศักดิ์ซับบิทูมินัส เอ และซับบิทูมินัส บี ตามลำดับ ถ่านหินอัดก้อนที่ได้จากการผสมถ่านหินดิบและเติมปูนขาวในอัตราส่วนต่าง ๆ มีร้อยละกำมะถันในช่วง 1-4 และมีอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S ในช่วง 0-4 ทำการทดสอบการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนชุดต่าง ๆ ในเตาหุงต้มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปากเตา 24 ซม. โดยวัดออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และอุณหภูมิระหว่างการเผาไหม้ ตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ รูปแบบการปล่อยของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้ ผลของปริมาณกำมะถัน อัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S ร้อยละอากาศเกินพอ ปริมาณของถ่านหินอัดก้อนที่ใช้ต่อครั้ง ที่มีต่อความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองและร้อยละกำมะถันที่ปล่อยออกมาระหว่างการเผาไหม้ และเปรียบเทียบการใช้งานของถ่านหินอัดก้อนกับถ่านไม้และไม้ฟืน ในแง่ของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ และประสิทธิภาพการใช้งาน

จากการวิจัยพบว่า ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกมามีค่าสูงในช่วง 10-30 นาทีแรกของการเผาไหม้ โดยความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ขึ้นกับปริมาณกำมะถันและอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S ในถ่านหินอัดก้อน ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนสูงขึ้น แต่จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S มีค่าสูงขึ้น ส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกันสำหรับถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันเท่ากัน และพบว่าร้อยละอากาศเกินพอมีผลโดยตรงต่อความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณกำมะถันที่ปล่อยออกมาตลอดช่วงการเผาไหม้เทียบกับกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนแสดงเป็นร้อยละของกำมะถันที่ปล่อยออกมา (%S emission) พบว่ามีค่าลดลง เมื่อร้อยละกำมะถันในถ่านหินอัดก้อน (%S) และอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S (CaO/S) มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์เป็นสมการได้ดังนี้ %S emission = $\frac{49.5 - 1.77[\%S]}{e^{0.253[CaO/S]}}$ นอกจากนี้พบว่าร้อยละอากาศเกินพอและปริมาณของถ่านหินอัดก้อนที่ใช้ต่อครั้งไม่มีผลมากนักต่อร้อยละของกำมะถันที่ปล่อยออกมา เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานกับถ่านไม้และไม้ฟืนพบว่าถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันไม่เกิน 2 และอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S เท่ากับ 2 ปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์อยู่ในระดับต่ำกว่ามาตรฐานของสหรัฐอเมริกาและน่าจะอยู่ในระดับที่ผู้ใช้ยอมรับได้ โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ใน 30 นาทีแรก มีค่าไม่เกิน 150 และ 50 ppm ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการใช้งานสูงกว่าถ่านไม้และไม้ฟืน

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C425657 :MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEYWORD: SULFUR DIOXIDE / No_x / COAL BRIQUETTE / DOMESTIC STOVE
PRODPRAN SIRITHEERASAS : SULFUR DIOXIDE AND NO_x EMISSIONS DURING COAL BRIQUETTE BURNING IN DOMESTIC STOVE. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. KUNCHANA BUNYAKIAT. THESIS CO-ADVISOR : PROF. SOMCHAI OSUWAN, Ph.D. 105pp. ISBN 974-633-769-6

This research investigated the variables which affect sulfur dioxide and nitrogen oxide emissions during coal briquette burning in domestic stove, and compared coal briquette burning with charcoal and firewood. Raw coals from Banpu and Mae-Moh Basins which consist of two samples from Banpu Basin namely Banpu1 and Banpu2 with sulfur contents of 1.16 and 0.87 by wt. respectively and their rank was subbituminous C and two samples from Mae-Moh Basin namely Mae-Moh1 and Mae-Moh2 with sulfur contents of 3.76 and 6.73 by wt. respectively and their ranks were subbituminous A and subbituminous B respectively were used in this research. Coal briquette used in this research had sulfur contents in the range of 1-5 % and CaO/S mole ratio in the range of 0-4. Combustion tests of coal briquette were done in domestic stove with its inner diameter of 24 cm. Oxygen, carbon dioxide, sulfur dioxide, nitrogen oxide and temperature of flue gas were measured during combustion test. The variables studied in this research were the profiles of sulfur dioxide and nitrogen oxide emissions during combustion, sulfur contents in coal briquette, CaO/S mole ratio, excess air, the quantities of coal briquette used which affect sulfur dioxide and nitrogen oxide emissions of coal briquette, and comparing the use of coal briquette with charcoal and firewood by means of sulfur dioxide and nitrogen oxide emissions and efficiency.

From the experiment, it can be concluded that sulfur dioxide and nitrogen oxide concentrations were high in the first 10-30 minutes of combustion time. Sulfur dioxide concentration increased with sulfur contents in coal briquette but decreased when CaO/S mole ratio increased. Nitrogen oxide concentrations were not different for the whole group of coal briquette with the same sulfur contents. Excess air increase caused sulfur dioxide and nitrogen oxide concentration to increase. When determining the total sulfur emitted, comparing with initial sulfur in coal briquette (%S emission), it was found that %S emission decreased when sulfur contents (%S) and mole CaO/S mole ratio (CaO/S) in coal briquette increased. The correlation can thus be presented as follows : $\%\,\mathrm{S\,emission} = \frac{49.5 - 1.77[\%S]}{e^{0.253[CaO/S]}}$. Excess air and the quantities of coal briquette slightly affected %S emission. In addition, comparing the use of coal briquette with charcoal and firewood show that sulfur dioxide and nitrogen oxide emissions of coal briquette with sulfur contents less than 2 and CaO/S mole ratio at 2 emitted the average concentration of sulfur dioxide and nitrogen oxide in the first 30 minutes below 150 and 50 ppm respectively which are lower than the U.S. standard emissions of those gases. Coal briquette efficiency was also found to be better than those of charcoal and firewood.

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ และศาสตราจารย์ ดร. สมชาย โอสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำปรึกษาแนะนำในด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ และจัดหาทุนผู้ช่วยวิจัยให้กับผู้วิจัย ตลอดจนอบรมสั่งสอนและกระตุ้นให้ผู้วิจัยมีกำลังใจและความพยายามในการทำงานวิจัยนี้ จนทำให้งานวิจัยสามารถสำเร็จลงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พล สาเกทอง และ อาจารย์ ดร. สุเมธ ชวเดช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาอ่านและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้ข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอขอบคุณ เงินทุนคณะวิทยาศาสตร์-บริษัท เอสโซ่ สแตนดาร์ด (ประเทศไทย) จ ที่มอบทุนผู้ช่วยสอนให้แก่ผู้วิจัยตลอดเวลาที่ผู้วิจัยศึกษาอยู่

ขอขอบคุณ บริษัท เหมืองบ้านปู จำกัด และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ถ่านหินเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ตัวอย่างปูนขาวที่ใช้ในงานวิจัย และขอขอบคุณ กรมทรัพยากรธรณี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสังข์ ชมชื่น คุณพรรณี สุทธิพงศ์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือวิจัยต่าง ๆ

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ทุกคนในภาควิชาเคมีเทคนิค ที่เป็นกำลังใจและคอยช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ทุกท่าน โดยเฉพาะอาจารย์ ธนิทธิ์ พิพัฒพันธุ์ และขอขอบพระคุณ อ. ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ สำหรับความห่วงใยและกำลังใจตลอดเวลาที่ผู้วิจัยทำงานวิจัยนี้ และคอยเป็นแรงผลักดันให้ผู้วิจัยสามารถทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ของผู้เขียน ซึ่งคอยสนับสนุนในด้านการเงินและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)..... ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญตาราง..... ญ
สาบัญรูป..... ฒ
สารบัญภาพ..... ต

บทที่

1. บทนำ..... 1
2. วารสารปริทัศน์..... 4
   - 2.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของถ่านหิน..... 5
   - 2.2 กำมะถันในถ่านหิน..... 9
   - 2.3 ไนโตรเจนในถ่านหิน..... 10
   - 2.4 การเผาไหม้ถ่านหิน..... 13
     - 2.4.1 การเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการเผาไหม้ถ่านหิน..... 14
     - 2.4.2 การกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในระหว่างการเผาไหม้ถ่านหิน.... 14
     - 2.4.3 การเกิดไนโตรเจนออกไซด์ในระหว่างการเผาไหม้ถ่านหิน..... 15
     - 2.4.4 การควบคุมการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในระหว่างการเผาไหม้..... 16
   - 2.5 มาตรฐานการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ในระหว่างการเผาไหม้..... 17
   - 2.6 การอัดก้อนถ่านหิน..... 19

2.7 เตาหุงต้ม 21
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23
2.8.1 งานวิจัยด้านปฏิกิริยาระหว่างกำมะถันในถ่านหิน และแคลเซียมออกไซด์ 23
2.8.2 งานวิจัยด้านการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ 25
2.8.3 งานวิจัยด้านการอัดก้อนถ่านหิน 25
3. เครื่องมือและวิธีการทดลอง 28
3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย 28
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 28
3.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษา 29
3.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย 34
3.4.1 การเตรียมตัวอย่างถ่านหินสำหรับการอัดก้อน 34
3.4.2 การวิเคราะห์ถ่านหิน 34
3.4.3 การอัดก้อนถ่านหิน 35
3.4.4 ทดสอบการเผาไหม้ของถ่านหินอัดก้อน ถ่านไม้ และไม้ฟืน 35
3.4.5 การทดสอบหาประสิทธิภาพในการใช้งานของ ถ่านหินอัดก้อน ถ่านไม้ และไม้ฟืน 37
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 38
4.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินเบื้องต้น 38
4.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านไม้และถ่านฟืน 40
4.3 ผลการวิเคราะห์ปูนขาว 40
4.4 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินอัดก้อน 41
4.5 การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้ 41
4.5.1 รูปแบบการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้ 41
4.5.2 ผลของปริมาณกำมะถันที่มีต่อการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 43
4.5.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S ที่มีต่อการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 46

4.5.4 ผลของร้อยละอากาศเกินพอที่มีผลต่อการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 50
4.6 ร้อยละของกำมะถันที่ปล่อยออกมาในการเผาไหม้ (%S emission) 51
4.6.1 ผลของปริมาณกำมะถันในถ่านหินอัดก้อน 51
4.6.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S 54
4.6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของกำมะถันที่ปล่อยมากับปริมาณกำมะถันและอัตราส่วนโดยโมลของCaO/S 54
4.6.4 ผลของร้อยละอากาศเกินพอ 57
4.6.5 ผลของปริมาณถ่านหินอัดก้อน 59
4.7 การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้ 60
4.7.1 รูปแบบการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้ 60
4.7.2 ผลของชุดถ่านหินอัดก้อนที่มีต่อการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ 63
4.7.3 ผลของร้อยละอากาศเกินพอที่มีต่อการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ 64
4.8 การเปรียบเทียบการใช้งานของถ่านหินอัดก้อนกับถ่านไม้และฟืน 65
4.8.1 การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้ 66
4.9.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านหินอัดก้อนกับถ่านไม้และไม้ฟืน 68
5. สรุปผลการทดลอง 70

รายการอ้างอิง 73
ภาคผนวก 77
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ 78
ภาคผนวก ข ตัวอย่างข้อมูลดิบ 92
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ 94
ประวัติผู้เขียน 105

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การจำแนกถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM D 388	6
2.2	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอะตอมของธาตุในถ่านหินศักดิ์ต่าง ๆ	7
2.3	ปริมาณไนโตรเจนที่ปรากฏในถ่านหินศักดิ์ต่าง ๆ	13
2.4	มาตรฐานคุณภาพอากาศของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนตริกออกไซด์ของประเทศไทยและประเทศสหรัฐอเมริกา	18
2.5	มาตรฐานการปล่อย (standard emissions) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของประเทศสหรัฐอเมริกา และข้อเสนอแนะของมาตรฐานการปล่อยของก๊าซทั้งสองในประเทศไทย	18
4.1	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) ของถ่านหินที่ใช้ในการวิจัย (air-dried basis)	39
4.2	ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ของถ่านหินที่ใช้ในการวิจัย (air-dried basis)	40
4.3	ผลการวิเคราะห์ถ่านไม้และไม้ฟืนที่ใช้ในการวิจัย (air-dried basis)	41
4.4	ผลการวิเคราะห์ถ่านหินอัดก้อนที่ใช้ในการวิจัย (air-dried basis)	42
4.5	ความเข้มข้น (ในหน่วย ppm) เฉลี่ยของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในช่วง 10-30 นาที ของการเผาไหม้ ของถ่านหินอัดก้อนชุดต่าง ๆ	49
4.6	ร้อยละของกำมะถันที่ปล่อยออกมาในการเผาไหม้ และร้อยละของกำมะถันในเถ้าของถ่านอัดก้อนชุดต่าง ๆ	53
4.7	เปรียบเทียบ % s emission ของการทดลองจริง กับค่า % s emission ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ 4.6	58
4.8	ร้อยละของกำมะถันที่ปล่อยออกมา (% s emission) ที่ร้อยละอากาศเกินพอต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนชุด S22	59

4.9 ร้อยละของกำมะถันที่ปล่อยออกมาในการเผาไหม้ที่ปริมาณ
ถ่านหินอัดก้อนต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนชุด S22..... 60
4.10 ความเข้มข้น (ในหน่วย ppm) เฉลี่ยของไนโตรเจนออกไซด์ในช่วง
10-30 นาที ของการเผาไหม้ ของถ่านหินอัดก้อนชุดต่าง ๆ..... 64
4.11 ประสิทธิภาพในการทำงานของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 2
และมีอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S เท่ากับ 2 เปรียบเทียบกับถ่านไม้และไม้ฟืน.... 68

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ในถ่านหิน	8
2.2	ลักษณะโครงสร้างของกำมะถันอินทรีย์ ที่มีสารประกอบพวก marcaptan, sulfide และ heterocyclic ring ในโครงสร้างถ่านหิน	11
2.3	ลักษณะโครงสร้างของกำมะถันอินทรีย์ตามแนวคิดของ W.H. Wiser ที่มีสารประกอบพวกไดซัลไฟด์ในโครงสร้างของถ่านหิน	12
2.4	สูตรโครงสร้างของไพริดีนและไพโรล	13
2.5	รูปร่างของถ่านหินอัดก้อน	21
2.6	ส่วนประกอบที่จำเป็นสำหรับเตาหุงต้ม	22
3.1	การติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ทดสอบการเผาไหม้	36
4.1	การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 1-5 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 0	43
4.2	การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 1-5 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 1	44
4.3	การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 1-5 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 2	44
4.4	การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 1-5 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 3	45
4.5	การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 1-5 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 4	45
4.6	การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 1 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 0-4	46
4.7	การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 2 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 0-4	47

4.8 การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 3 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 0-4 47
4.9 การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 4 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 0-4 48
4.10 การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 5 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 0-4 48
4.11 การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 2 และอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S เท่ากับ 2 ในสภาวะการเผาไหม้ 1) เปิดหน้าต่างช่องลมครึ่งหนึ่ง 2) ปกติ 3) เปิดพัดลมตลอดเวลา 51
4.12 ร้อยละของกำมะถันที่ปล่อยออกมาในการเผาไหม้ของถ่านหินอัดก้อนชุดต่าง ๆ 52
4.13 ร้อยละของกำมะถันที่ปล่อยออกมาในการเผาไหม้ของถ่านหินอัดก้อนที่อัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S เท่ากับ 0 55
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า log [%S emission] กับค่า CaO/S 56
4.15 ไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกมาที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 1 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 0-4 61
4.16 ไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกมาที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 2 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 0-4 61
4.17 ไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกมาที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 3 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 0-4 62
4.18 ไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกมาที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 4 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 0-4 62
4.19 ไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกมาที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 5 และอัตราส่วนของ CaO/S เท่ากับ 0-4 63
4.20 การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถันเท่ากับ 2 และอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S เท่ากับ 2 ในสภาวะการเผาไหม้ 1) เปิดหน้าต่างช่องลมครึ่งหนึ่ง 2 ปกติ 3) เปิดพัดลมตลอดเวลา 65

4.21 การปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถัน
เท่ากับ 1และ 2 และมีอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S เท่ากับ 2
เปรียบเทียบกับถ่านไม้และไม้ฟืน..... 66
4.22 การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ของถ่านหินอัดก้อนที่มีร้อยละกำมะถัน
เท่ากับ 1และ 2 และมีอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S เท่ากับ 2
เปรียบเทียบกับถ่านไม้และไม้ฟืน..... 67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

3.1 เครื่องบดถ่านหินชนิด hammer mill..... 30
3.2 เครื่องบดถ่านหินชนิด cross beater mill..... 31
3.3 เครื่องผสมแบบริบบิน..... 31
3.4 เครื่องอัดก้อนถ่านหินชนิด double ring roll..... 32
3.5 เตาอั้งโล่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปากเตา 24 ซม.)..... 32
3.6 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบออร์ซัท (orsat analysis)..... 33
3.7 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์..... 33

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย