

การยัดกะมะถันในถ่านหินโดยวิธีออกซิเดชันในสารละลายเบส



นางสาว กิ่งสีมา ศิริศิระชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา ศึกษาคำสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2528

ISBN 974-564-940-6

009265

I 15134519

COAL OXYDESULFURIZATION IN BASIC SOLUTIONS

Miss Guntima Sirijeerachai

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 974-564-940-6



หัวข้อวิทยานิพนธ์                    การขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยวิธีออกซิเดชันในสารละลายเบส  
 โดย    นางสาว กัญจิมมา ศิริสีระชัย  
 ภาควิชา                                      เคมีเทคนิค  
 อาจารย์ที่ปรึกษา                        ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประค้ำลันล้ากรีก  
 ปีการศึกษา                                2528

บทคัดย่อ



กำมะถันเป็นองค์ประกอบที่ไม่ต้องการในถ่านหิน เนื่องจากก่อให้เกิดปัญหาสำคัญในด้านการกัดกร่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ และมลภาวะเป็นพิษ จึงได้ศึกษาการขจัดกำมะถันโดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ร้อนทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกวน ในงานวิจัยนี้พบว่าสามารถขจัดกำมะถันได้ดีเมื่อใช้อุณหภูมิสูง, อนุภาคถ่านหินขนาดเล็ก, ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตต่ำ และใช้ปริมาณถ่านหินในการทำปฏิกิริยาน้อย

สภาวะที่เหมาะสมในการขจัดกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ต๊ีบ จังหวัดลำปาง คือขนาดอนุภาคถ่านหิน 150-250 ไมครอน (0.15 - 0.25 มม.) อุณหภูมิ 100-120<sup>0</sup> ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล.สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1,000 - 1,400 รอบ/นาที เวลา 1 ชม. สามารถลดกำมะถันรวมได้ 32.75 % ลดกำมะถันไพไรต์ 60.56 % และลดกำมะถันซัลเฟตได้ 85.33 % และเมื่อใช้ก๊าซออกซิเจน ความดัน 2.44 - 3.85 กก./ตร.ซม. เป็นตัวออกซิไดซ์ กำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ต๊ีบที่สภาวะเดียวกัน พบว่าสามารถลดกำมะถันรวมได้ 38.43 % ลดกำมะถันไพไรต์ 66.20 % และลดกำมะถันซัลเฟตได้ 85.33 % พบว่าในการขจัดกำมะถันโดยการใช้ออกซิเจนในปฏิกิริยาสามารถขจัดกำมะถันได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น

9

Thesis Title	Coal Oxydesulfurization in Basic Solutions
Name	Miss Guntima Sirijeerachai
Thesis Advisor	Assistant Professor Pattarapan Prasassarakich, Ph.D.
Department	Chemical Technology
Academic Year	1985

#### Abstract

Sulfur is an undesirable constituent in coal because of combustion equipment corrosion and air pollution. The desulfurization of coal using hot sodium carbonate solution in a stirred tank reactor is studied. In this work sulfur was very well removed when high temperature was used for small particle size of coal, low sodium carbonate concentration and small loading.

The suitable conditions for desulfurization of coal from Mae Tip mine, Lumpang Province was found as follows ; particle size of coal 150 - 250  $\mu\text{m}$ . (0.15 - 0.25 mm.), Temperature 100 - 120°C, 0.2 M sodium carbonate, loading 100 g. coal/500 ml. solution, rate of agitation 1,000 - 1,400 rpm. for 1 hr. and the results were, 32.75 % total sulfur reduction, 60.56 % pyritic sulfur reduction, and 85.33 % sulfate sulfur reduction. Under the same leaching condition 2.44 - 3.85 kg./cm<sup>2</sup> oxygen was purged in the reactor as oxidizing agent, the results were 38.43 % total sulfur reduction, 66.20 % pyritic sulfur reduction, and 85.33 % sulfate sulfur reduction. When oxygen was used in the reaction, slightly more sulfur was removed.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรหม ประคำลั่นสารกิจ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือ และอบรมสั่งสอนมาโดยตลอด และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่ที่ช่วยเหลือในด้านการทรัพย์ และกำลังใจตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ รองศาสตราจารย์ กัญจน บุษยเกียรติ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภา วนตรงควรธนะ และคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ ทานอุดหนุนการวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2527 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยโครงการนี้ และขอขอบพระคุณหน่วยงานและข้าราชการที่กรุณาให้ความร่วมมือในงานวิจัย คือ คุณ อรุณศิริ กำลัง คู่ยนต์ เครื่องมือและวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และคู่ยนต์ เครื่องมือและวิจัยวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ คุณสังข์ ช่มชื่น, ตลอดจนข้าราชการและพนักงานในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ลุ้ตท้ายขอขอบพระคุณพี่ เพื่อน และน้อง ๆ ที่เป็นกำลังใจสนับสนุนและช่วยเหลือการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

สารบัญ



	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย . . . . .	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ . . . . .	จ
กิตติกรรมประกาศ . . . . .	ฉ
สารบัญตาราง . . . . .	ญ
สารบัญรูป . . . . .	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ . . . . .	ฉ
บทที่	
1. บทนำ . . . . .	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง . . . . .	3
2.1 โครงสร้างและสารประกอบของถ่านหิน . . . . .	3
2.1.1 โครงสร้างอินทรีย์ . . . . .	6
2.1.2 สารประกอบแร่ธาตุ . . . . .	9
2.1.3 กัมมะถันไพไรต์ . . . . .	9
2.1.4 กัมมะถันซัลเฟต . . . . .	10
2.1.5 กัมมะถันอินทรีย์ . . . . .	10
2.2 การขจัดกัมมะถัน . . . . .	13
2.2.1 วิธีขจัดกัมมะถันทางกายภาพ . . . . .	13
2.2.2 วิธีขจัดกัมมะถันทางเคมี . . . . .	15
2.2.3 การขจัดกัมมะถันอินทรีย์ . . . . .	17
2.2.4 การขจัดกัมมะถันไพไรต์ . . . . .	20
2.3 กระบวนการในการขจัดกัมมะถัน . . . . .	22
2.3.1 กระบวนการขจัดกัมมะถันโดยวิธีทางกายภาพ . . . . .	24
2.3.2 กระบวนการขจัดกัมมะถันโดยวิธีทางเคมี . . . . .	34

2.4	กลไกของปฏิกิริยาการขจัดกำมะถันและอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลต่อ ปฏิกิริยา . . . . .	42
2.4.1	กลไกของปฏิกิริยา . . . . .	42
2.4.2	ชนิดของสารละลายต่าง . . . . .	48
2.4.3	ความดันออกซิเจน . . . . .	48
2.4.4	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต . . . . .	49
2.4.5	เวลา . . . . .	49
2.4.6	อุณหภูมิ . . . . .	49
2.4.7	อัตราเร็วของการกวน . . . . .	50
2.5	ผลงานวิจัยภายในประเทศ . . . . .	52
3.	เครื่องมือและวิธีการทดลอง . . . . .	54
3.1	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง . . . . .	54
3.2	ตัวอย่างถ่านหินและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง . . . . .	59
3.3	การดำเนินงานวิจัย . . . . .	59
3.4	ขั้นตอนการทดลอง . . . . .	61
3.5	การวิเคราะห์ถ่านหิน . . . . .	61
4.	ผลการทดลอง การวิเคราะห์และวิจารณ์ . . . . .	65
4.1	การศึกษาองค์ประกอบกำมะถันในถ่านหินแหล่งต่าง ๆ . . . . .	65
4.2	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการขจัดกำมะถัน . . . . .	66
4.2.1	ผลของเวลา . . . . .	68
4.2.2	ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต . . . . .	80
4.2.3	ผลของปริมาณถ่านหินที่ใช้ทำปฏิกิริยา . . . . .	85
4.2.4	ผลของขนาดของถ่านหิน . . . . .	90
4.2.5	ผลของอุณหภูมิ . . . . .	96
4.2.6	ผลของความดันออกซิเจน . . . . .	101
4.2.7	ผลของการใช้น้ำเป็นตัวล้าง (leachant) . . . . .	112



บทที่	หน้า
4.2.8 ผลขององค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหิน . . . . .	120
5. สรุปผลการทดลอง . . . . .	123
เอกสารอ้างอิง . . . . .	127
ภาคผนวก . . . . .	131
ประวัติ . . . . .	144

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งลำดับถ่านหิน (rank) ตามสมบัติของถ่านหิน . . . . .	5
2.2 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอะตอมของธาตุในถ่านหินลำดับต่าง ๆ . . . . .	5
2.3 แร่ธาตุส่วนใหญ่ที่พบในถ่านหิน . . . . .	8
2.4 ลักษณะของกระบวนการทำความสะอาดถ่านหินโดยวิธีทางกายภาพ . . . . .	14
2.5 กระบวนการขจัดกำมะถันโดยวิธีทางกายภาพ . . . . .	16
2.6 กระบวนการทางเคมีในการขจัดกำมะถัน . . . . .	18
2.7 สมบัติทางกายภาพของถ่านหินส่วน maceral และส่วนแร่ . . . . .	25
2.8 กระบวนการและเครื่องมือที่ใช้ในการแยกกำมะถันไพไรต์ที่เป็นอิสระ ออกจากถ่านหิน . . . . .	26
2.9. สมบัติของ Petroleum Oil ที่ใช้ในกระบวนการ Oil Agglomeration . . . . .	30
2.10 แสดงการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของไพไรต์ที่แยกมาจากถ่านหิน โดยใช้ สารละลายต่างชนิดต่าง ๆ . . . . .	47
4.1 ปริมาณกำมะถันในถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ (แบบไม่รวมความชื้น) . . . . .	67
4.2 ปริมาณกำมะถันในถ่านหินแหล่งห้วยเล็ก (แบบไม่รวมความชื้น) . . . . .	67
4.3 ปริมาณกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ต๊ับ (แบบไม่รวมความชื้น) . . . . .	67
4.4 สมบัติถ่านหินแหล่งห้วยเล็ก (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการ ดิวลิวชันที่เวลาต่าง ๆ . . . . .	69
4.5 สมบัติถ่านหินแหล่งห้วยเล็ก (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการ ดิวลิวชันที่เวลาต่าง ๆ . . . . .	75
4.6 สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ต๊ับ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการ ดิวลิวชันที่ความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนตต่าง ๆ . . . . .	81
4.7 สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ต๊ับ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการ ดิวลิวชัน โดยใช้ปริมาณถ่านหินต่าง ๆ . . . . .	86

## ตารางที่

## หน้า

4.8	สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ตึบ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการ ดิสซิลเฟอไรเซชันที่ขนาดถ่านหินต่าง ๆ . . . . .	91
4.9	สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ตึบ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการ ดิสซิลเฟอไรเซชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ . . . . .	97
4.10	สมบัติถ่านหินแหล่งห้วยเล็ก (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการ ออกซิไดส์ซิลเฟอไรเซชันที่ความดันออกซิเจนต่าง ๆ . . . . .	102
4.11	สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ตึบ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการ ออกซิไดส์ซิลเฟอไรเซชันที่ความดันออกซิเจนต่าง ๆ . . . . .	107
4.12	สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ตึบ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการ ดิสซิลเฟอไรเซชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้น้ำเป็นตัวล้าง . . . . .	113
4.13	สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ตึบ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการ ดิสซิลเฟอไรเซชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้น้ำและสารละลายโซเดียม คาร์บอเนตเป็นตัวล้าง . . . . .	118

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สารประกอบอินทรีย์ที่มีในถ่านหิน . . . . .	7
2.2 โครงสร้างทางอินทรีย์ของถ่านหิน . . . . .	7
2.3 Coal Crystalline Structure . . . . .	8
2.4 ลักษณะโครงสร้างของกำมะถันอินทรีย์ของสารประกอบพวก mercaptan, ซัลไฟด์ และ heterocyclic ring structure ในโครงสร้างของถ่านหิน	11
2.5 ลักษณะโครงสร้างของกำมะถันอินทรีย์ของสารประกอบพวกไดซัลไฟด์ในโครง สร้างของถ่านหิน . . . . .	12
2.6 การควบคุมการปล่อย Flue Gas โดยกระบวนการทำความสะอาดและการ เตรียมถ่านหิน . . . . .	23
2.7 กระบวนการแยกกำมะถันไพไรต์และแร่ธาตุโดยใช้ Hydrocyclone . . . . .	28
2.8 กระบวนการ Froth Flotation . . . . .	32
2.9 รูปแบบต่าง ๆ ของการทำความสะอาดและการเตรียมถ่านหิน โดยกระบวนการ ทางกายภาพ . . . . .	35
2.10 H-Coal Process . . . . .	36
2.11 Synthoil Process . . . . .	38
2.12 Solvent Refined Coal Process . . . . .	39
2.13 Meyer Process . . . . .	39
2.14 Ledgemont Process . . . . .	41
2.15 Battelle Process . . . . .	41
2.16 Concentration Profile ของ Gas-Liquid-Solid System . . . . .	44
2.17 รูปร่างอนุภาคถ่านหิน . . . . .	44
2.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง % conversion กับเวลา . . . . .	47
2.19 กระบวนการออกซิไดซ์ลิวโอไรเซชัน . . . . .	51

รูปที่	หน้า	
3.1	แผนผังของเครื่องปฏิกรณ์แบบกวน และเครื่องมือต่าง ๆ . . . . .	55
3.2	การตัดเครื่องมือในการทดลอง . . . . .	56
3.3	การตัดเครื่องมือในการทดลองเมื่อมีการใช้ก๊าซออกซิเจนร่วมในปฏิกิริยา . . . . .	56
3.4	ถังปฏิกรณ์และฝาปิด . . . . .	57
3.5	ฝาปิดถังปฏิกรณ์ (ด้านข้าง) . . . . .	58
3.6	ถังปฏิกรณ์ปิดฝาพร้อมที่จะนำไปใช้งาน . . . . .	60
3.7	เครื่องบดถ่านหิน (hammer mill) . . . . .	62
3.8	เครื่องบดละเอียดถ่านหิน (ball mill) . . . . .	62
3.9	เครื่องร่อนแยกขนาดของถ่านหิน (seive) . . . . .	63
4.1	ผลของเวลาที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแห้งหว่ายเล็กหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอร์ไฮไดรเจน . . . . .	70
4.2	ผลของเวลาที่มีต่อปริมาณกำมะถันและค่าความร้อนในถ่านหินแห้งหว่ายเล็กหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอร์ไฮไดรเจน . . . . .	72
4.3	ผลของเวลาที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแห้งหว่ายเล็กหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอร์ไฮไดรเจน . . . . .	73
4.4	ผลของเวลาที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแห้งหว่ายเล็กหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอร์ไฮไดรเจน . . . . .	76
4.5	ผลของเวลาที่มีต่อปริมาณกำมะถันและค่าความร้อนของถ่านหินแห้งหว่ายเล็กหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอร์ไฮไดรเจน . . . . .	78
4.6	ผลของเวลาที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแห้งหว่ายเล็กหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอร์ไฮไดรเจน . . . . .	79
4.7	ผลของความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนตที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแห้งเม็ดบดหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอร์ไฮไดรเจน . . . . .	82
4.8	ผลของความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนตที่มีต่อปริมาณกำมะถันและค่าความร้อนในถ่านหินแห้งเม็ดบดหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอร์ไฮไดรเจน . . . . .	83

รูปที่	หน้า
4.9 ผลของความเข้มข้นสารละลายไฮโดรียมคาร์บอเนตที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตึบหลังจากกระบวนการดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	84
4.10 ผลของปริมาณถ่านหินที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตึบหลังจากกระบวนการออกซิดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	88
4.11 ผลของปริมาณถ่านหินที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตึบหลังจากกระบวนการออกซิดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	89
4.12 ผลของขนาดถ่านหินที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตึบหลังจากกระบวนการดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	93
4.13 ผลของขนาดถ่านหินที่มีต่อปริมาณ กำมะถันและค่าความร้อนในถ่านหินแหล่งแม่ตึบหลังจากกระบวนการดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	94
4.14 ผลของขนาดถ่านหินที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตึบหลังจากกระบวนการดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	95
4.15 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตึบหลังจากกระบวนการดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	99
4.16 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตึบหลังจากกระบวนการดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	100
4.17 ผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งหวายเล็กหลังจากกระบวนการออกซิดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	103
4.18 ผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อปริมาณ กำมะถันและค่าความร้อนของถ่านหินแหล่งหวายเล็กหลังจากกระบวนการออกซิดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	104
4.19 ผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งหวายเล็กหลังจากกระบวนการออกซิดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	105
4.20 ผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตึบหลังจากกระบวนการออกซิดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	109
4.21 ผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อปริมาณ กำมะถันและค่าความร้อนของถ่านหินแหล่งแม่ตึบหลังจากกระบวนการออกซิดีซัลเฟอร์ไรเซชัน . . . . .	110

รูปที่	หน้า
4.22 ผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแห้ง แม่ดิบหลังผ่านกระบวนการออกซิไดซ์ลเฟอโรเซชัน . . . . .	111
4.23 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแห้งแม่ดิบหลังผ่าน กระบวนการดีซัลเฟอโรเซชันโดยใช้น้ำ . . . . .	114
4.24 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณเก่าและค่าความร้อนของถ่านหินแห้งแม่ดิบหลังผ่าน กระบวนการดีซัลเฟอโรเซชันโดยใช้น้ำ . . . . .	115
4.25 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแห้งแม่ดิบหลัง ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอโรเซชัน โดยใช้น้ำ . . . . .	116
4.26 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแห้งแม่ดิบหลัง ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอโรเซชัน โดยใช้น้ำละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และน้ำ . . . . .	119
ภ.1 Automatic Bomb Calorimeter . . . . .	141

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a	หมายถึง	effective gas-liquid interfacial area ( $m^2/m^3$ )
a <sub>p</sub>		effective liquid-solid interfacial area ( $m^2/m^3$ )
b		reaction stoichiometric coefficient ( $\frac{\text{mole pyrites}}{\text{mole oxygens}}$ )
c		concentration of dissolved oxygen ( $\text{mole/cm}^3$ )
C <sub>A1</sub>		concentration of dissolved solute gas at the gas-liquid interface ( $k \text{ mol/m}^3$ )
C <sub>A2</sub>		concentration of dissolved solute gas in the bulk liquid ( $k \text{ mol/m}^3$ )
C <sub>AL</sub>		concentration of dissolved solute gas in the bulk liquid ( $k \text{ mol/m}^3$ )
C <sub>AS</sub>		concentration of dissolved solute gas at the solid surface ( $k \text{ mol/m}^3$ )
De		effective diffusivity ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )
k <sub>L</sub>		true gas-liquid mass transfer coefficient (m/s)
k <sub>SL</sub>		true liquid-solid mass transfer coefficient (m/s)
r		radius of the cylindrical of cyclone (m)
R		particle radius (cm)
R <sub>A</sub>		volumetric rate of absorption ( $k \text{ mol/m}^3 \text{ s}$ )
t		reaction time (s)
V		tangential velocity (m/s)
x		fractional conversion (เทอมไร้นหน่วย)
τ		time for complete conversion of a single particle (s)
ρ		molar density of pyrite ( $\text{mol/cm}^3$ )
δ <sub>1</sub> , δ <sub>2</sub>		ความหนาของฟิล์มระหว่าง gas phase กับ liquid phase และระหว่าง liquid phase กับ solid phase ตามลำดับ



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

- และ ○ ร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา
- ▲ และ △ ร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา
- และ □ ร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้น และหลังปฏิกิริยา
- และ ○ ร้อยละของปริมาณแก๊ส เริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา
- % De-S ( total sulfur reduction )
- ▲ % De-pyrite ( pyritic sulfur reduction )
- % De-sulfate ( sulfate sulfur reduction )
- ▷ % Heating Value Recovery