5

การขจัดกำมะถันและเถ้าจากถ่านหินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

นาย เอกชัย อานนท์กิจพานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

ISBN 974-567-491-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012385

i 10298666

SULFUR AND ASH REMOVAL FROM COAL VIA HYDROGEN PEROXIDE SOLUTION

Mr. Ekachai Ahnonkitpanit, 1960-

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-567-491-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การขจัดกำมะถันและเถ้าจากถ่านหินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

โดย นาย เอกชัย อานนท์กิจพานิช

ภาควิชา เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทัศคร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การขจัดกำมะถันและเถ้าจากถ่านหินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์-ออกไซด์

โดย นาย เอกชัย อานนท์กิจพานิช

ภาควิชา เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ

ปีการศึกษา 2529

บทคัดย่อ

เนื่องจากถ่านหินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญ การทำความสะอาดถ่านหินเป็นวิธีการลดกำมะถันและเถ้าในถ่านหินก่อนนำไปเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงและช่วยลดสารมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยใช้สารละลายไฮโดร-เจนเปอร์ออกไซด์ในเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบไม่ต่อเนื่อง จากผลการวิจัยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการขจัดกำมะถันจากถ่านหินแหล่งแม่เมาะ คือ ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10-15% น้ำหนักต่อปริมาตรใน 0.1 นอร์มอล กรดซัลฟูริก ขนาดถ่านหินต่ำกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 25-30 °ซ อัตราการกวน 1000-1200 รอบต่อนาที ปริมาณถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลาย 300 มล. (1:10) ระยะเวลา 1-1$\frac{1}{2}$ ชม. สามารถลดกำมะถันรวมได้ 48.82% ลดกำมะถันซัลเฟตได้ 84.28% ลดกำมะถันไพไรต์ได้ 97.30% ลดกำมะถันอินทรีย์ได้ 9.50% ลดเถ้าได้ 68.81% และเพิ่มค่าความร้อนได้ 11.69% ในการขจัดกำมะถันของถ่านหินพบว่าอัตราเร็วปฏิกิริยาเป็นอันดับสองของไพไรต์ ขั้นตอนการควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยาไพไรต์เป็นแบบควบคุมโดยการแพร่ โดยมีค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาของไพไรต์ (k_2) และค่าการแพร่ประสิทธิผล (De) คือ

สำหรับถ่านหินเหมืองแม่เมาะ

$$k_2 = 12.02 \times 10^6 \exp(-52.61 \times 10^6/RT)$$

$$De = 1.78 \times 10^{-5} \exp(-33.22 \times 10^6/RT)$$

สำหรับถ่านหินเหมืองป่าคา

$$k_2 = 3.88 \times 10^6 \exp(-49.71 \times 10^6/RT)$$

$$De = 1.15 \times 10^{-5} \exp(-33.09 \times 10^6/RT)$$

Thesis Titlle	Sulfur and Ash Removal from Coal via Hydrogen peroxide Solution.
Name	Mr. Ekachai Ahnonkitpanit
Thesis Advisor	Assistant Professor Pattarapan Prasassarakich, Ph.D.
Department	Chemical Technology
Academic Year	1986

ABSTRACT

Due to the importance of coal as natural resource, coal cleaning is method to decrease sulfur and ash prior to combustion which can reduce pollutants during combustion. The desulfurization of coal using hydrogen peroxide solution in a batch stirred tank reactor was studied. The suitable conditions for desulfurization of coal from Mae-Moh mine, were as follows; 10-15% W/V hydrogen peroxide/0.1 N sulfuric acid, particle size of coal < 250 μm, temperature 25-30^{o}C, rate of agitation 1000-1200 rpm., loading 30 gm coal/300 ml. solution (1:10) for 1-1½ hr. and the results were, 48.82% total sulfur reduction, 84.28% sulfate sulfur reduction, 97.30% pyritic sulfur reduction, 9.50% organic sulfur reduction, 68.81% ash reduction and 11.69% heating value increase. For the desulfurization of coal, it was found that the rate of pyrite oxidation was second-order, the rate of pyrite reaction was controlled by the diffusion through product layer. When the rate constants for pyrite reaction (k_2) and effective diffusivity (De) were as follows

For Mae-Moh coal $k_2 = 12.02 \times 10^6 \exp(-52.61 \times 10^6/RT)$

$De = 1.78 \times 10^{-5} \exp(-33.22 \times 10^6/RT)$

For Pa-Ka coal $k_2 = 3.88 \times 10^6 \exp(-49.71 \times 10^6/RT)$

$De = 1.15 \times 10^{-5} \exp(-33.09 \times 10^6/RT)$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ต้องขอแสดงความขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อท่านอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ที่กรุณาให้คำแนะนำช่วยเหลือการวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุญยเกียรติ รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนดุรงค์วรรณ อาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทัศคร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต และคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิค ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ ทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2529 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณหน่วยงานและข้าราชการภาควิชาเคมีเทคนิค และศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่ชาย และผู้อยู่เบื้องหลังที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนการทำวิจัยนี้มาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฐ
คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ ..... ด

บทที่

1. บทนำ 1
2. ทฤษฎีและผลงานวิจัยในอดีต 3
   2.1 องค์ประกอบและโครงสร้างของถ่านหิน 3
      2.1.1 การแบ่งลำดับศักย์ของถ่านหิน 3
      2.1.2 โครงสร้างอินทรีย์ 4
      2.1.3 สารประกอบแร่ธาตุ 4
      2.1.4 การจำแนกชนิดและลักษณะของกำมะถัน 9
   2.2 กระบวนการขจัดกำมะถัน 11
      2.2.1 กระบวนการขจัดกำมะถันโดยวิธีทางกายภาพ 11
      2.2.2 กระบวนการขจัดกำมะถันโดยวิธีทางเคมี 15
   2.3 ทฤษฎีกลไกการเกิดปฏิกิริยา 18
   2.4 ผลงานวิจัยต่างประเทศ 21
   2.5 ผลงานวิจัยในประเทศ 30
3. เครื่องมือและวิธีการทดลอง 31
   3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 31
   3.2 ตัวอย่างถ่านหินและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 38

บทที่ หน้า

3.3 การดำเนินงานวิจัย 39
3.4 ขั้นตอนการทดลอง 40
3.5 การวิเคราะห์ถ่านหิน 40
4. ผลการทดลอง การวิเคราะห์และวิจารณ์ 42
4.1 การเปรียบเทียบผลของสารละลายต่างชนิดในการขจัดกำมะถันจากถ่านหิน 44
4.1.1 ในการศึกษาเปรียบเทียบผลของสารละลายต่างชนิดโดยใช้ถ่านหินจากเหมืองป่าคา 44
4.1.2 ในการศึกษาเปรียบเทียบผลของสารละลายต่างชนิดโดยใช้ถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะ 47
4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 53
4.2.1 ผลของปริมาณถ่านหินต่อสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 53
4.2.2 ผลของความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลาย 55
4.2.3 ผลของความเข้มข้นกรดซัลฟูริกในสารละลาย 61
4.2.4 ผลของระยะเวลา 66
4.2.5 ผลของอุณหภูมิ 71
4.2.6 ผลของความเร็วรอบการกวน 75
4.2.7 ผลของขนาดถ่านหิน 78
4.3 การเปรียบเทียบผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการขจัดกำมะถันจากถ่านหินบางแหล่ง 81
4.4 การศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาเคมีของไพไรต์และขั้นตอนควบคุมอัตราเร็วการทำปฏิกิริยากับไพไรต์ในถ่านหิน 84
4.4.1 การหาอันดับอัตราเร็วปฏิกิริยาเคมีของไพไรต์ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะ 84
4.4.2 การหาค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาเคมีและค่าพลังงานกระตุ้นของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ 90

บทที่ หน้า

4.4.3 การศึกษาขั้นตอนควบคุมอัตราเร็วการทำปฏิกิริยากับไพไรต์ของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ 93

4.4.4 การหาค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาเคมีและค่าพลังงานกระตุ้นสำหรับถ่านหินเหมืองป่าคา 98

4.4.5 การศึกษาขั้นตอนควบคุมอัตราเร็วการทำปฏิกิริยากับไพไรต์ในถ่านหินเหมืองป่าคา 103

5. สรุปผลและวิจารณ์ 107

เอกสารอ้างอิง 111

ภาคผนวก 114

ประวัติผู้เขียน 143

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอะตอมของธาตุในถ่านหินลำดับต่าง ๆ	4
2.2	การจำแนกชนิดถ่านหินโดยลำดับตาม ASTM D388	5
2.3	การจำแนกลำดับของถ่านหินโดยการเปรียบเทียบระบบมาตรฐานระหว่างประเทศและระบบของประเทศต่าง ๆ	6
2.4	แร่ธาตุส่วนใหญ่ที่พบในถ่านหิน	8
2.5	สมบัติทางกายภาพของถ่านหินส่วน maceral และส่วนแร่	15
4.1	แสดงสมบัติถ่านหินเหมืองต่าง ๆ (แบบไม่รวมความชื้น)	43
4.2	แสดงสมบัติถ่านหินเหมืองแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น)	43
4.3	สมบัติถ่านหินเหมืองป่าคา (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันด้วยสารละลายต่าง ๆ	45
4.4	สมบัติถ่านหินเหมืองแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันด้วยสารละลายต่าง ๆ	48
4.5	สมบัติถ่านหินเหมืองแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันด้วยสารละลายต่าง ๆ	51
4.6	สมบัติถ่านหินเหมืองแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	54
4.7	สมบัติถ่านหินเหมืองแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่าง ๆ ในกรดซัลฟูริก	57
4.8	สมบัติถ่านหินเหมืองแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน แปรเปลี่ยนความเข้มข้นกรดซัลฟูริกในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	62
4.9	สมบัติถ่านหินเหมืองแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันที่ระยะเวลาต่าง ๆ ด้วยสารละลายไฮโดร-เจนเปอร์ออกไซด์	68

ตารางที่ หน้า

4.10 สมบัติถ่านหินเหมืองแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 72

4.11 สมบัติถ่านหินเหมืองแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 76

4.12 ปริมาณกำมะถันไพไรต์ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันที่ขนาดต่าง ๆ ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 79

4.13 สมบัติถ่านหินเหมืองป่าคา แม่เมาะ และหวายเล็ก (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 82

4.14 แสดงค่าร้อยละกำมะถันไพไรต์ ความเข้มข้นของไพไรต์และอัตราเร็วปฏิกิริยา ตามระยะเวลาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ 85

4.15 แสดงค่าความชันจากรูปที่ 4.18 88

4.16 แสดงค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ 90

4.17 แสดงค่าการแพร่ประสิทธิผลของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ 94

4.18 แสดงค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาของถ่านหินเหมืองป่าคา 98

4.19 แสดงค่าร้อยละกำมะถันไพไรต์ ความเข้มข้นของไพไรต์ และค่าสัดส่วนการเปลี่ยนตามระยะเวลาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของถ่านหินเหมืองป่าคา.. 99

4.20 แสดงค่าการแพร่ประสิทธิผลของถ่านหินเหมืองป่าคา 103

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สารประกอบอินทรีย์ที่มีในถ่านหิน	7
2.2	โครงสร้างทางอินทรีย์ของถ่านหิน	7
2.3	Coal organic crystalline structure	8
2.4	ลักษณะต่าง ๆ ของ pyrite ที่พบในถ่านหินภาคเหนือของประเทศไทย ...	10
2.5	ลักษณะโครงสร้างของกำมะถันอินทรีย์พวก heterocyclic ring	12
2.6	ลักษณะโครงสร้างของกำมะถันอินทรีย์ของสารประกอบพวกไดซัลไฟด์ในโครงสร้างของถ่านหิน	13
2.7	การควบคุมการปล่อยฟูลก๊าซโดยกระบวนการทำความสะอาดและการเตรียมถ่านหิน	14
2.8	รูปแบบอนุภาคถ่านหินในสารละลาย	18
2.9	แสดงโปรไฟล์ความเข้มข้นก๊าซ A เมื่อการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา	19
2.10	แสดงผลโปรไฟล์ความเข้มข้นก๊าซ A เมื่อการแพร่ผ่านชั้นผลิตภัณฑ์ควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา	21
2.11	แสดงผลโปรไฟล์ความเข้มข้นก๊าซ A เมื่อการเกิดปฏิกิริยาควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา	23
3.1	เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน แจกเก็ต เครื่องทำน้ำเย็น และเครื่องมือควบคุมต่าง ๆ	32
3.2	ถังปฏิกรณ์และฝาปิด	33
3.3	ถังปฏิกรณ์และฝาปิดเมื่อประกอบเข้าด้วยกัน	33
3.4	แจกเก็ตหล่อเย็น	34
3.5	เครื่องปฏิกรณ์และแจกเก็ตเมื่อประกอบเสร็จ	34
3.6	เครื่องทำน้ำเย็น	35
3.7	การจัดเครื่องปฏิกรณ์ แจกเก็ต และเครื่องทำน้ำเย็นในการทดลอง	35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ หน้า

3.8 เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน อ่างน้ำมัน และเครื่องควบคุมต่าง ๆ 36
3.9 การจัดเครื่องปฏิกรณ์และอ่างน้ำมันในการทดลอง 37
3.10 แสดงแผนผังขั้นตอนการทดลอง 41
4.1 ผลของน้ำร้อน โซเดียมไฮดรอกไซด์ คอปเปอร์ซัลเฟต ต่อการขจัดปริมาณเถ้าและกำมะถันจากถ่านหินเหมืองป่าคา 46
4.2 ผลของน้ำร้อน คอปเปอร์ซัลเฟต เฟอริกซัลเฟต และโซเดียมคาร์บอเนตต่อการขจัดปริมาณเถ้าและกำมะถันจากถ่านหินเหมืองแม่เมาะ 49
4.3 ผลของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการขจัดปริมาณเถ้าและกำมะถันชนิดต่าง ๆ จากถ่านหินเหมืองแม่เมาะ 52
4.4 ผลของความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายกรดซัลฟูริกต่อกำมะถันชนิดต่าง ๆ ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน 58
4.5 ผลของความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายกรดซัลฟูริกต่อกำมะถันชนิดต่าง ๆ ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะ หลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน 59
4.6 ผลของความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีผลการลดปริมาณเถ้า การเพิ่มค่าความร้อนและ F.C./V.M. ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะ หลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน 60
4.7 ผลของความเข้มข้นกรดซัลฟูริกในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อกำมะถันชนิดต่าง ๆ ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน 63
4.8 ผลของความเข้มข้นกรดซัลฟูริกในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อกำมะถันชนิดต่าง ๆ ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน 64
4.9 ผลของความเข้มข้นกรดซัลฟูริกในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการลดปริมาณเถ้า การเพิ่มค่าความร้อน และ F.C./V.M. ในถ่านหินเหมืองแม่เหมาะ หลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน 65

รูปที่ หน้า

4.10 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์-ออกไซด์ในกรดซัลฟูริก ต่อกำมะถันชนิดต่าง ๆ ของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ 69

4.11 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์-ออกไซด์ในกรดซัลฟูริก ต่อการลดปริมาณเถ้า การเพิ่มค่าความร้อน และ F.C./V.M. ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน 70

4.12 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดกำมะถันชนิดต่าง ๆ ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออก-ไซด์ 73

4.13 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดปริมาณเถ้า การเพิ่มค่าความร้อนและ F.C./V.M. ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 74

4.14 ผลของความเร็วรอบการกวนที่มีต่อกำมะถันชนิดต่าง ๆ ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถันด้วยสารละลายไฮโดรเจน-เปอร์ออกไซด์ 77

4.15 ผลของอนุภาคถ่านหินต่อการขจัดกำมะถันไพไรต์ ด้วยสารละลายไฮโดร-เจนเปอร์ออกไซด์ในกรดซัลฟูริก 80

4.16 กราฟแสดง ผลการลดปริมาณกำมะถันรวม กำมะถันซัลเฟต กำมะถันไพไรต์ กำมะถันอินทรีย์ และเถ้าของถ่านหินเหมืองป่าคา แม่เมาะ และหวายเล็ก 83

4.17 กราฟแสดงสัดส่วนการเปลี่ยนของไพไรต์ของถ่านหินเหมืองแม่เมาะขนาด 150-250 ไมครอน ตามระยะเวลาที่อุณหภูมิ 15, 25 และ 30 °ซ ... 86

4.18 กราฟระหว่าง $\ln(-r_p)$ กับ $\ln C_p$ ของถ่านหินเหมืองแม่เมาะที่อุณหภูมิ 15, 25 และ 30 °ซ 87

4.19 กราฟระหว่าง $\frac{1}{C_p}$ กับเวลาของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ 89

4.20 แสดงกราฟแบบอัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสองระหว่าง $\frac{1}{1-X}-1$ กับเวลาของปฏิกิริยาขจัดไพไรต์ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 15, 25 และ 30 °ซ 91

รูปที่ หน้า

4.21 Arrhenius plot ระหว่าง k_2 กับ $\frac{1}{T}$ ของปฏิกิริยาขจัดไพไรต์ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 92

4.22 กราฟระหว่าง $1-3(1-X)^{2/3}+2(1-X)$ กับเวลาโดยอาศัย shrinking core model ของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับไพไรต์ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะที่อุณหภูมิ 15, 25 และ 30 °ซ 95

4.23 Arrhenius plot ระหว่าง De กับ $\frac{1}{T}$ ของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้าทำปฏิกิริยากับไพไรต์ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะโดยอาศัย shrinking core model 96

4.24 กราฟแสดงการทดสอบสมการรูปแบบการควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยากับไพไรต์ของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ 97

4.25 กราฟแสดงสัดส่วนการเปลี่ยนของไพไรต์ของถ่านหินเหมืองป่าคาขนาด 150-250 ไมครอน ที่อุณหภูมิ 15, 25 และ 30 °ซ 100

4.26 กราฟแบบอัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสองระหว่าง $\frac{1}{1-X} - 1$ กับเวลาของปฏิกิริยาขจัดไพไรต์ในถ่านหินเหมืองป่าคา กับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์-ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 15, 25 และ 30 °ซ 101

4.27 Arrhenius plot ระหว่าง k_2 กับ $\frac{1}{T}$ ของปฏิกิริยาขจัดไพไรต์ในถ่านหินเหมืองป่าคา กับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 102

4.28 กราฟระหว่าง $1-3(1-X)^{2/3}+2(1-X)$ กับเวลา โดยอาศัย shrinking core model ของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับไพไรต์ในถ่านหินเหมืองป่าคา ที่อุณหภูมิ 15, 25 และ 30 °ซ 104

4.29 Arrhenius plot ระหว่าง De กับ $\frac{1}{T}$ ของสาระลลายไฮโดรเจน-เปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับไพไรต์ในถ่านหินเหมืองป่าคา โดยอาศัย shrinking core model 105

4.30 กราฟแสดงการทดสอบรูปแบบการควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยากับไพไรต์ของถ่านหินเหมืองป่าคา 106

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ

b = ค่าสัมประสิทธิ์ stoichiometric, เทอมไร้หน่วย

C_A = ความเข้มข้นของก๊าซ A , โมล/ปริมาตร

C_{AC} = ความเข้มข้นของก๊าซ A ที่แกนใน, โมล/ปริมาตร

C_{Ag} = ความเข้มข้นของก๊าซ A ในวัฏภาคก๊าซ, โมล/ปริมาตร

C_{AL} = ความเข้มข้นของก๊าซ A ในวัฏภาคของเหลว, โมล/ปริมาตร

C_{AS} = ความเข้มข้นของก๊าซ A ที่ผิวอนุภาค, โมล/ปริมาตร

C_p = ความเข้มข้นไพโรต์ในถ่านหิน, กิโลโมล/ม.^{3}

C_{p_o} = ความเข้มข้นไพโรต์ในถ่านหินเริ่มต้น, กิโลโมล/ม.^{3}

De = ค่าการแพร่ประสิทธิผล, ม.^{2}/วินาที

$De(o)$ = จุดตัดค่าการแพร่ประสิทธิผล, ม.^{2}/วินาที

E = ค่าพลังงานกระตุ้น, จูล/กิโลโมล

k = ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา

k_g = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลระหว่างของก๊าซกับอนุภาค, พื้นที่/เวลา

k_L = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลระหว่างของเหลวกับอนุภาค, พื้นที่/เวลา

k_S = ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา, ต่อหน่วยเวลา

k_2 = ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิริยาอันดับสองของไพโรต์, ม.^{3}/กิโลโมล.วินาที

$k_{2(o)}$ = จุดตัดค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสองของไพโรต์, ม.^{3}/กิโลโมล.วินาที

N_A = โมลของ A, โมล

N_B = โมลของ B, โมล

Q_A = การถ่ายเทมวล A ต่อหน่วยพื้นที่, โมล/พื้นที่. เวลา

Q_{AL} = การถ่ายเทมวล A ต่อหน่วยพื้นที่ที่แกนใน, โมล/พื้นที่. เวลา

Q_{AS} = การถ่ายเทมวล A ต่อหน่วยพื้นที่ที่ผิวของอนุภาค, โมล/พื้นที่. เวลา

R = รัศมีของอนุภาค, เมตร

R_1 = รัศมีเฉลี่ยของอนุภาคถ่านหิน, เมตร

Re = ค่า Reynolds number, เทอมไร้หน่วย

r_A = อัตราเร็วปฏิกิริยาของสาร A, โมล/ปริมาตร.เวลา

r_c = รัศมีของแกนในอนุภาค, เมตร

r_p = อัตราเร็วปฏิกิริยาของไพไรต์, กิโลโมล/ม.^{3}วินาที

S_{ex} = พื้นที่ผิวส่วนที่ยังไม่ได้เกิดปฏิกิริยาของอนุภาค, ม.^{2}

T = อุณหภูมิ, องศาเคลวิน

t = เวลาของการเกิดปฏิกิริยา, วินาที

t_R = เวลาของการเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์, วินาที

V = ปริมาณสารในเครื่องปฏิกรณ์, ม.^{3}

X = ค่าสัดส่วนการเปลี่ยน, เทอมไร้หน่วย

X_{Af} = ค่าสัดส่วนการเปลี่ยนของ A ทั้งหมด, เทอมไร้หน่วย

X_B = ค่าสัดส่วนการเปลี่ยนของของแข็ง B, เทอมไร้หน่วย

τ = เวลาของการเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์, วินาที

α_A = โมลที่เปลี่ยนไปต่อ 1 หน่วยปริมาตร, เทอมไร้หน่วย

α_{Af} = โมลที่เปลี่ยนไปทั้งหมดต่อ 1 หน่วยปริมาตร, เทอมไร้หน่วย

ρ_B = ความหนาแน่นของไพไรต์ในถ่านหิน, กิโลโมล/ม.^{3}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย