

การแตกของเม็ดกำมะถันโดยวิธีของกวนอัศราเจอบสูง

นาย สุเทพ อมรรังสีโรจน์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974 - 637 - 996 - 8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BREAKAGE OF SULPHUR PARTICLES USING HIGH-SHEAR AGITATOR



MR. SUTHAP AMONRANGSIROT

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology**

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

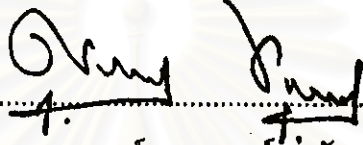
Academic Year 1997

ISBN 974 - 637 - 996 - 8


หัวข้อวิทยานิพนธ์
โดย
ภาควิชา
อาจารย์ที่ปรึกษา

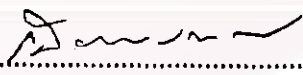
การแตกของเม็ดกำมะถันโดยใช้เครื่องกวาดตราเอ็นสูง
นาย สุเทพ อมรรังสิโรจน์
เคมีเทคนิค
อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทัศนคร

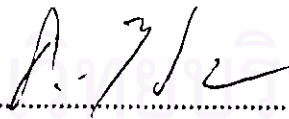
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

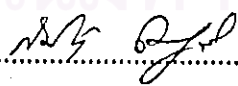

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทัศนคร)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตตานนท์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

พิมพ์แล้วฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สุเทพ อมรรังสิโรจน์ : การแตกของเม็ดกำมะถันโดยใช้เครื่องกวนอัตราเฉือนสูง (BREAKAGE OF SULPHUR PARTICLES USING HIGH-SHEAR AGITATOR) อ. ที่ปรึกษา : ดร. เทียรพรรค ทัศนกร, 96 หน้า. ISBN 974-637-996-8.

การลดขนาดเม็ดกำมะถันโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง เพื่อป้องกันการระเบิดที่อาจเกิดขึ้น พบว่าขนาดเฉลี่ยเม็ดกำมะถันและอัตราจำเพาะของการแตกทั้งก่อน ลดลงอย่างรวดเร็วใน 15 นาทีแรก และช้าลงในช่วงเวลาถัดไปจนถึง 90 นาที ทั้งในเครื่องบดแบบใช้ลูกบดและในถังกวนที่ใช้ใบกวนอัตราเฉือนสูง โดยเม็ดกำมะถันขนาด 11, 6 และ 3 มิลลิเมตร จะแตกได้เป็นเม็ดกำมะถันขนาด 1.2, 0.4 และ 0.07 มิลลิเมตร โดยเครื่องกวนอัตราเฉือนสูงทำงานได้ดีกว่าเครื่องบดแบบใช้ลูกบด เพราะใช้พลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักกำมะถันและขนาดเฉลี่ยเม็ดกำมะถันที่ได้น้อยกว่า การบดด้วยเครื่องบดแบบใช้ลูกบด

การเงื่อนไขในถังกวนที่ค่าพลังงานมอเตอร์ต่อปริมาตรของไหล 8.8 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร เพียงพอต่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำถึง 0.5 เพื่อได้เม็ดกำมะถันขนาดต่ำกว่า 0.4 มิลลิเมตร โดยสามารถทำนายสัดส่วนน้ำหนักกำมะถันที่เวลา 15 นาทีแรก สำหรับช่วงค่า $0 \leq d/D_{32} < 7.5$

$$F = 0.3 \exp \left[-0.27 \left(\ln \frac{d}{D_{32}} - 0.02 \right)^2 \right]$$

โดย F คือสัดส่วนน้ำหนัก, d คือขนาด และ D_{32} คือขนาดเฉลี่ย

เม็ดกำมะถันที่ผ่านการลดขนาดจะนำไปอบแห้งแบบถาด สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการอบแห้งกับความชื้นเริ่มต้น สำหรับเม็ดกำมะถันขนาดต่ำกว่า 0.4 มิลลิเมตร ดังนี้

$$T_d = -0.045W^2 + 6.6W$$

โดย T_d คือเวลา(นาที)ที่ใช้อบแห้ง และ W คือร้อยละของน้ำเริ่มต้นในตัวอย่าง

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อผู้ผลิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่อคณาจารย์ที่ปรึกษาอื่น ๆ

C825813 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: BREAKAGE / SULPHUR / HIGH-SHEAR / AGITATOR

SUTHAP AMONRANGSIROT : BREAKAGE OF SULPHUR PARTICLES USING HIGH-SHEAR AGITATOR. THESIS ADVISOR : PIENPAK TASAKORN, Ph.D. 96 pp. ISBN 974-637-996-8.

Size reduction of sulphur particles suspended in water, to prevent explosion, has indicated that the average particle size and specific rate of disintegrative fracture rapidly decrease within initial 15 minutes, then slowly afterward to 90 minutes both in ball mill and high-shear agitator. Average particle size of 11, 6 and 3 millimeter are reduced to 1.2, 0.4 and 0.07 millimeter. A high-shear agitator performs better than a ball mill, judging from lower electrical energy used for equivalent weight of sulphur and resultant average particle size.

Shearing by the agitator using energy per volume of fluid (PV) at 8.8 kilowatt per cubic meter suffices, for sulphur to water weight ratio of 0.5, to achieve particle size lower than 0.4 millimeter. Particle size distribution at the initial 15 minute, for $0 \leq d/D_{32} < 7.5$ can be predicted by

$$F = 0.3 \exp \left[-0.27 \left(\ln \frac{d}{D_{32}} - 0.02 \right)^2 \right]$$

Where F is weight fraction, D is particle size, and D_{32} is average particle size

The reduced sulphur particles were subsequently dried on tray dryer. The drying time and initial moisture for particle smaller than 0.4 millimeter may be represented empirically as

$$T_d = -0.045W^2 + 6.6W$$

Where T_d is drying time (minute), and W is percent of initial moisture in the sample

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค

สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา.....2540

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาช่วย.....



กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. เพ็ชรพรรค ทศคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุส่งไปได้ด้วยดี รวมทั้ง ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์ และ อาจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ มาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในงานวิจัยนี้

เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่เป็นเมื่อกำมะถัน และเงินทุนในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัทเคมิน จึงขอขอบพระคุณอย่างสูง และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ บุคลากร ของภาควิชาเคมีเทคนิคทุก ๆ ท่านในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ การเบิกจ่ายเครื่องมือ ช่วยสร้างและซ่อมแซมอุปกรณ์ ในการทำวิจัยครั้งนี้จนสามารถดำเนินการวิจัยได้ดีมาตลอด และขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิค และผู้ที่อยู่เบื้องหลังทุกท่านที่เป็นกำลังใจให้การสนับสนุนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจให้การช่วยเหลือ และการสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๖
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๙
กิตติกรรมประกาศ	๑๑
สารบัญตาราง	๑๖
สารบัญรูป	๑๗
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 ทารสารปริทรรศน์.....	3
กัมมะถัน.....	3
แหล่งแร่กัมมะถัน.....	4
การใช้ประโยชน์กัมมะถัน.....	4
การทำเหมืองแร่และการผลิตกัมมะถัน.....	5
การผลิตกัมมะถันภายในประเทศ.....	7
การลดขนาด.....	8
หลักการของการลดขนาด.....	9
กลไกการแตกของแร่.....	12
เครื่องมือที่ใช้ลดขนาด.....	14
เครื่องบดแบบถึงหมุน.....	18
เครื่องบดแบบการกวน.....	20
วิธีวิเคราะห์ขนาดอนุภาค.....	20
การแสดงผลการกระจายของเม็ดขนาดอนุภาค.....	24
การกวน.....	28
รูปแบบการไหลในถังกวน.....	29
ใบกวน.....	30
การอบแห้ง.....	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
กลไกที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้ง.....	33
อัตราการอบแห้ง.....	35
เวลาในการอบแห้ง.....	36
งานวิจัยในอดีต.....	37
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	42
สารเคมีและเครื่องที่ใช้ในการทดลอง.....	42
การดำเนินการวิจัย.....	44
1 การทดลองบดเม็ดกำมะถันใน ball mill.....	44
2 การทดลองเจียนเม็ดกำมะถันในถังกวนที่ใช้ใบกวนอัตราเจียนสูง.....	45
3 การวิเคราะห์ค่าการกระจายขนาดของเม็ดกำมะถัน.....	45
4 การทดลองอบแห้งเม็ดกำมะถัน.....	46
4 ผลการทดลอง.....	48
ผลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อการบดเม็ดกำมะถันใน ball mill.....	48
ผลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อการเจียนเม็ดกำมะถันในถังกวน.....	53
ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ใน ball mill และในถังกวน.....	59
ผลของตัวแปรต่าง ๆ ในการอบแห้งเม็ดกำมะถัน.....	60
5 วิจัยกรณีผลการทดลอง.....	65
การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการบดเม็ดกำมะถันใน ball mill.....	66
การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการเจียนเม็ดกำมะถันในถังกวน.....	68
ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ ใน ball mill และในถังกวน.....	71
การกระจายขนาดเม็ดกำมะถันในถังกวน.....	71
การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อเวลาในการอบแห้ง.....	72
6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	75
รายการอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก.....	80
ก สมบัติของธาตุกำมะถัน.....	81

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ข ข้อมูงการทดลอง.....	84
ค ตัวอย่างการคำนวณ.....	94
ประวัติผู้เขียน.....	96



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างตารางแสดงผลวิเคราะห์การกระจายขนาดวัตถุที่ผ่านการลดขนาด.....	24
2.2 แสดงค่าตัวแปรสำหรับสมการที่ 2.10	27
4.1 แสดงเวลาอบแห้งเม็ดกำมะถันขนาด 0.075, 0.375 และ 1.20 มิลลิเมตร.....	61
ก 1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดตะแกรงมาตรฐาน ASTM ต่าง ๆ	82
ข 1 แสดงข้อมูลการทดลองหา D_{32} , d/D_{32} และ S_1 ที่อัตราส่วนน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำ 0.5 ใน ball mill.....	85
ข 2 แสดงข้อมูลการทดลองหา D_{32} ใน ball mill ที่เวลาเริ่มต้นการอบ.....	86
ข 3 แสดงข้อมูลการทดลองหา D_{32} ใน ball mill ที่เวลาการอบ 30 นาที.....	86
ข 4 แสดงข้อมูลการทดลองหา D_{32} ใน ball mill ที่เวลาการอบ 60 นาที.....	87
ข 5 แสดงข้อมูลการทดลองหา D_{32} ใน ball mill ที่เวลาการอบ 90 นาที.....	87
ข 6 แสดงข้อมูลการทดลองหา D_{32} , d/D_{32} และ S_1 ที่อัตราส่วนน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำ 0.5 ในเครื่องกวน.....	88
ข 7 แสดงข้อมูลการทดลองในถังกวนที่ $PV = 18.7 \text{ kW/m}^3$	89
ข 8 แสดงข้อมูลการทดลองในถังกวนที่ $PV = 12.3 \text{ kW/m}^3$	89
ข 9 แสดงข้อมูลการทดลองในถังกวนที่ $PV = 8.8 \text{ kW/m}^3$	89
ข 10 แสดงข้อมูลการหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน ball mill และเครื่องกวน.....	90
ข 11 แสดงข้อมูลการทดลองอบแห้งเม็ดกำมะถันขนาด 0.075 มิลลิเมตร.....	91
ข 12 แสดงข้อมูลการทดลองอบแห้งเม็ดกำมะถันขนาด 0.375 มิลลิเมตร.....	92
ข 13 แสดงข้อมูลการทดลองอบแห้งเม็ดกำมะถันขนาด 1.2 มิลลิเมตร.....	93

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของโมเดลกัมมะกัน.....	3
2.2 การนำกัมมะกันกลับคืนจากไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยกระบวนการ Claus.....	6
2.3 แสดงประสิทธิภาพการนำกัมมะกันกลับคืน.....	8
2.4 แสดงแรงที่เกิดขึ้นในระบบการลดขนาดวัตถุแข็ง.....	10
2.5 แสดงการกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกลดขนาดโดยแรงทั้ง 3.....	10
2.6 แสดงความเครียดที่เกิดขึ้นตรงบริเวณรอยแตก.....	10
2.7 แสดงกลไกการแตกของแข็งแบบร็คซี่.....	12
2.8 แสดงกลไกการแตกของแข็งแบบกะเทาะ.....	12
2.9 แสดงกลไกการแตกของแข็งแบบการแตกหักก้อน.....	13
2.10 เครื่องย่อยต่าง ๆ	15
2.11 เครื่องบดต่าง ๆ	16
2.12 เครื่องบดละเอียดต่าง ๆ	17
2.13 เครื่องตัดแบบใบมีด.....	17
2.14 แสดงตะแกรงคัดขนาดอนุภาค และเครื่องคัดขนาดแบบอื่น.....	23
2.15 เครื่องวัดการกระจายขนาดต่าง ๆ	23
2.16 แสดงการเขียนการกระจายขนาดของวัตถุที่ผ่านการลดขนาดทั้ง 3 แบบ.....	26
2.17 ถึงกวนมาตรฐาน.....	29
2.18 แสดงรูปแบบการไหล.....	30
2.19 ใบกวนชนิดต่าง ๆ	32
2.20 ใบกวนอัตราเจือปนสูงชนิดต่าง ๆ	32
2.21 แสดงน้ำในวัสดุระเหยออกไป.....	34
2.22 แสดงการเปลี่ยนแปลงรัศมีรูปทรงกลมกับเวลาบดของควอทซ์แต่ละขนาด.....	39
3.1 แสดงใบกวนอัตราเจือปนสูง.....	43
3.2 แสดงชุดเครื่องกวนอัตราเจือปนสูง.....	44
3.3 แสดงขั้นตอนการทดลองทั้งใน ball mill และในถังกวน	45
4.1 แสดงค่าการกระจายขนาดกัมมะกันแต่ละขนาด ที่เวลาการบดต่าง ๆ ใน ball mill	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 แสดงค่าสะสมสัดส่วนน้ำหนักกำมะถันขนาดต่าง ๆ ของแต่ละเวลาบดใน ball mill	50
4.3 แสดงค่าขนาดเฉลี่ย (D_{50}) ของกำมะถันตามระยะเวลาการบดใน ball mill.....	51
4.4 แสดงค่าสะสมสัดส่วนน้ำหนักกำมะถันขนาดต่าง ๆ ในแต่ละอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกำมะถันต่อน้ำ 0.2-0.5 ที่เวลา 30, 60 และ 90 นาที ใน ball mill.....	52
4.5 ขนาดเฉลี่ย (D_{50}) ของกำมะถันตามระยะเวลาการบดใน ball mill ของแต่ละอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกำมะถันต่อน้ำ.....	53
4.6 แสดงค่าการกระจายขนาดของกำมะถันแต่ละขนาด ที่เวลาต่าง ๆ ในถังกวน.....	54
4.7 แสดงค่าการสะสมสัดส่วนน้ำหนักกำมะถันขนาดต่าง ๆ ของแต่ละเวลาในถังกวน....	55
4.8 แสดงค่าขนาดเฉลี่ย(D_{50}) ของกำมะถันตามระยะเวลาในถังกวน.....	56
4.9 แสดงค่าสัดส่วนน้ำหนักของเม็ดกำมะถันขนาด 0.075 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ PV ต่าง ๆ ของแต่ละสัดส่วนน้ำหนักของกำมะถันต่อน้ำในถังกวน.....	57
4.10 แสดงค่าสัดส่วนน้ำหนักของเม็ดกำมะถันขนาด 0.375 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ PV ต่าง ๆ ของแต่ละสัดส่วนน้ำหนักของกำมะถันต่อน้ำในถังกวน.....	57
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกำมะถันต่อน้ำ ที่ PV ต่าง ๆ กับค่าขนาดเฉลี่ยของเม็ดกำมะถัน.....	58
4.12 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักกำมะถัน(บาทต่อกิโลกรัม)ทั้งหมด กับเศษส่วนขนาดเฉลี่ยที่ช่วงเวลาระยะ 15 นาที ตั้งแต่ 0-90 นาที.....	59
4.13 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละของน้ำเริ่มต้นในตัวอย่างที่ 10-50 ของแต่ละช่วงเวลาอบแห้ง โดยใช้เม็ดกำมะถันขนาด 0.075, 0.375 และ 1.20 มิลลิเมตร.....	61
4.14 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละของน้ำในตัวอย่างที่กำมะถันขนาด 0.075, 0.375 และ 1.20 มิลลิเมตร แต่ละช่วงเวลาอบแห้ง ที่ร้อยละของน้ำเริ่มต้นต่าง ๆ ในตัวอย่าง.....	63
5.1 แสดงอัตราจำเพาะการแตกหักก้อนของกำมะถันตามระยะเวลาการบดใน ball mill	67
5.2 แสดงอัตราจำเพาะการแตกหักก้อนของกำมะถันตามระยะเวลาการบดในถังกวน...	69
5.3 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายข้อมูลตามทฤษฎีกับการทดลอง ที่เวลาการเจียน 15 นาทีแรก.....	72
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งสุดท้ายกับร้อยละของน้ำเริ่มต้นในตัวอย่าง	74