

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของรูปทรงอนุภาคในการบดย่อยอนุภาค
โดยใช้เครื่องบดแบบสันสะเทือน

นาย ศุภกิจ สมุทรพงศ์ธร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-764-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS OF THE CHANGE IN PARTICLE SHAPE DURING
COMMUNITION USING VIBRATION MILL

Mr. Supakij Samuthpongthorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

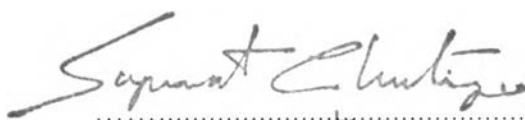
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-639-764-8


Thesis Title Analysis of the Change in Particle Shape during Comminution using
Vibration Mill
By Mr. Supakij Samuthpongthorn
Department Chemical Engineering
Thesis Advisor Assistant Professor Tawatchai Charinpanitkul, Dr. Eng.

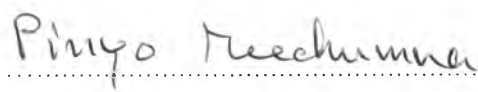
Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University, in Partial
Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.


 Dean of Graduate School
(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)

Thesis Committee

 Chairman
(Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.)

 Thesis Advisor
(Assistant Professor Tawatchai Charinpanitkul, Dr. Eng.)

 Member
(Assistant Professor Pinyo Meechumna, Ph.D.)

 Member
(Hathaichanok Duriyabunleng, Ph.D.)

นายศุภกิจ สมุทรพงษ์ธร : การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของรูปทรงอนุภาคในการบดย่อยอนุภาค โดยใช้เครื่องบดแบบสั่นสะเทือน (ANALYSIS OF THE CHANGE IN PARTICLE SHAPE DURING COMMINUTION USING VIBRATION MILL) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ธวัชชัย ชรินทร์ชกุล, 124 หน้า. ISBN 974-639-764-8.

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงปัจจัยหลักต่างๆของกระบวนการบดในเครื่องบดแบบสั่นสะเทือน (Vibration Ball Mill) ที่มีผลต่อคุณสมบัติการไหลตัวของอนุภาคและการเปลี่ยนแปลงของรูปทรงอนุภาคภายหลังกระบวนการบด ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ เวลาในการบดและอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างลูกบดกับอนุภาคที่นำมาบด การประเมินคุณสมบัติการไหลตัวของอนุภาคจะใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะการไหลของอนุภาค (Powder Characteristics Tester) ส่วนการวิเคราะห์หารูปทรงอนุภาคนั้นจะประยุกต์ใช้แนวความคิดใหม่ตามหลักการของเรขาคณิตแฟรคทัล (Fractal Geometry) อนุภาคของวัสดุที่ใช้ในการศึกษาในที่นี้ ได้แก่ อนุภาคพลาสติกที่มีขนาดเริ่มต้น 1190-2000 ไมครอน หลังจากผ่านกระบวนการบดแล้วนำอนุภาคที่บดได้มาคัดขนาด โดยขนาดที่จะนำมาวิเคราะห์ลักษณะการไหลและรูปทรงมีด้วยกัน 3 ขนาด คือ 149-210 ไมครอน, 210-297 ไมครอน และ 297-420 ไมครอน เพื่อจำแนกอิทธิพลของขนาดและรูปทรงของอนุภาคออกจากกัน

จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าเมื่อใช้เวลาในการบดเพิ่มขึ้น ความสามารถในการไหลตัวของอนุภาคภายหลังการบดทุกๆขนาดจะลดต่ำลง และเมื่อพิจารณาจากรูปทรงอนุภาคก็พบว่าความขรุขระของอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการบดเพิ่มขึ้น สำหรับผลกระทบของปัจจัยทางด้านอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างลูกบดกับอนุภาคสารพบว่าคุณสมบัติการไหลตัวของอนุภาคภายหลังการบดที่ทุกๆขนาดที่อัตราส่วน 4:1 จะดีที่สุด เมื่อใช้ค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างลูกบดกับอนุภาคพลาสติกเป็น 3:1, 5:1 และ 6:1 ค่าความสามารถในการไหลตัวจะต่ำลง ซึ่งจากแนวโน้มนี้สามารถอธิบายได้โดยการพิจารณาจากการเคลื่อนที่ของลูกบดในหม้อบด ถ้าในหม้อบดมีปริมาณลูกบดจำนวนมาก อัตราการชนกันของลูกบดกับอนุภาคพลาสติกจะสูง ซึ่งจะทำให้อนุภาคเกิดการแตกตัวได้มากกว่า นำไปสู่ความขรุขระของอนุภาคที่เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีที่หม้อบดมีลูกบดจำนวนน้อย เช่น ที่อัตราส่วน 3:1 การชนกันของลูกบดกับอนุภาคพลาสติกจะเกิดขึ้นด้วยความแรงมาก ซึ่งจะทำให้อนุภาคที่ได้มีความขรุขระมาก ดังนั้นค่าความสามารถในการไหลตัวของอนุภาคหลังการบดที่อัตราส่วน 3:1 จึงมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่อัตราส่วน 4:1

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
 สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
 ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิตด ศุภกิจ สมุทรพงษ์ธร
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C817289 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: VIBRATION MILL/SHAPE ANALYSIS/FRACTAL DIMENSION/FLOWABILITY

SUPAKIJ SAMUTHPONGTHORN : ANALYSIS OF THE CHANGE IN PARTICLE SHAPE DURING COMMINUTION

USING VIBRATION MILL. THESIS ADVISOR : ASS.PROF TAWATCHAI CHARINPANITKUL, Dr. Eng.

124 pp. ISBN 974-639-764-8.

The present work studied effects of two major factors, grinding time and weight ratio between grinding media and particles, on shape and flowability of ground feldspar using a vibration ball mill. A Powder Characteristics Tester was employed to evaluate flowability whereas particle shape analysis was carried out using a novel concept of fractal geometry. The raw material used in this work was feldspar in the size range 1190-2000 micron. After comminution, the ground product were sieved into three size ranges (149-210 micron, 210-297 micron and 297-420 micron) for discriminate effects of size and shape of particle.

From the experimental results, it was found that as grinding time increased, the flowability of ground feldspar in each size ranges became smaller. On the other hand, it was also found that the shape irregularity increased as the the grinding time increased. For the effect of weight ratio between grinding media and particle on the flowability of ground feldspar, it was found that the ground feldspar at weight ratio between grinding media and feldspar of 4:1 has the best flowability in all of three size ranges. On the other hand, at weight ratio 3:1, 5:1 and 6:1 flowability of ground feldspar become worse. It can be explained by considering the motion of grinding media in the mill. If the mill contains more grinding media (which represents by higher weight ratio), the collisions between media and feldspar occur more frequently. This led to cracking of particles which may cause the higher degree of irregularity of particle's shape. However, if the mill contains less medias such as weight ratio between media and feldspar 3:1, the grinding media and feldspar will collide more violently due to the less energy loss. This led to the high shape irregularity of ground feldspar. Therefore, the flowability of ground feldspar in this case become lower than the case of weight ratio 4:1

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา.....2541

ลายมือชื่อนิสิต.....สุภาวดี สมบูรณ์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to express his sincere gratitude to his advisor, Assistant Professor Tawatchai Charinpanitkul, for his inspiring guidance and valuable suggestions throughout the course of this work.

The author also wishes to extend his gratitude to Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Assistant Professor Pinyo Meechumna and Dr. Hathaichanok Duriyabunleng for their invaluable comments and participation as thesis committee.

Furthermore, the author respectfully thanks Thailand Research Funds (TRF) for providing partial financial support to the project, Royal Ceramic Industry Company for supplying the feldspar for this work and Thai Powder Technology Center for allowing the author to use vibration ball mill and the powder characteristics tester.

Moreover, the author would like to offer his sincere and grateful thanks to his family for their encouragement and warmest support.

Finally, the author would like to take this opportunity to convey his thanks to his friends and all others who have helped him during his study.

CONTENTS

	page
ABSTRACT IN THAI.....	iv
ABSTRACT IN ENGLISH.....	v
ACKNOWLEDGEMENT.....	vi
LIST OF TABLES.....	x
LIST OF FIGURES.....	xi
NOMENCLATURE.....	xiii
CHAPTER	
1. INTRODUCTION.....	1
1.1 Objectives of Present Study.....	2
1.2 Scope of Present Work.....	2
2. FUNDAMENTALS KNOWLEDGE.....	3
2.1 Historical Development of Comminution.....	3
2.2 Classification in Comminution Process.....	3
2.3 Process of Comminution.....	4
2.4 The Law of Comminution Energy.....	7
2.5 Shape Characterization of Particles.....	10
2.5.1 Introduction.....	10
2.5.2 Characterization of particle shape by Fractal Dimension.....	11
2.5.3 Fractal Analysis by Count-Based Method.....	14
2.6 Evaluating Flow Properties of Solids.....	15
2.6.1 Evaluating Flowability.....	16
2.6.2 Kinds of Bulk Density.....	18
2.6.3 Calculating Flowability.....	21
2.6.4 Evaluating Floodability.....	23

	page
2.6.5 Calculating Floodability.....	25
2.7 Size distribution of particles.....	27
2.7.1 Arithmetic normal distributions.....	27
2.7.2 The log-normal distribution.....	29
2.8 Analysis of Variance.....	30
3. LITERATURE SURVEYS.....	36
4. EXPERIMENTS.....	41
4.1 Raw Material.....	41
4.2 Apparatus.....	43
4.2.1 Vibration mill.....	43
4.2.2 Powder Tester.....	44
4.3 Experimental conditions.....	45
4.4 Experimental procedure.....	46
5. RESULT AND DISCUSSION.....	49
5.1 Effect of comminution conditions on the size distribution.....	49
5.2 Effect of comminution conditions on the overall flowability.....	52
5.3 Effect of grinding time on the flowability.....	55
5.4 Effect of grinding time on the particle shape.....	58
5.5 Effect of weight ratio between media and feldspar on the flowability...	61
5.6 Effect of weight ratio between media and feldspar on the particle shape.....	63
5.7 Relationship between flowability and particle shape of ground product.....	65
5.8 Analysis of variance for determining the difference of fractal dimension of ground feldspar.....	67
6. CONCLUSIONS.....	
6.1 Conclusions.....	70
6.2 Recommendation.....	71

	page
REFERENCES.....	72
APPENDIX.....	74
A Apparatus.....	75
A1.1 Specific of Vibration mill.....	75
A1.2 Specific of Powder Tester.....	75
B Experimental data.....	76
B.1 Particle Size Distribution.....	76
B.2 Effect of the grinding conditions on the powder characteristics.....	81
B.3 Effect of the grinding conditions on the particle shape.....	101
B.4 Example of particle shape.....	116
C Example of analysis of variance of particle shape.....	119
D Grinding conditions.....	123
VITA.....	124

LIST OF TABLES

	page
Table 2.1 Scaling law for fractal dimension.....	13
Table 2.2 Evaluation of flowability index of powder.....	22
Table 2.3 Evaluation of floodability index of powder.....	26
Table 2.4 Integration of the normal probability equation.....	29
Table 2.5 k Random Samples.....	32
Table 2.6 Analysis of Variance for the One-Way Classification.....	35
Table 5.1 Effect of grinding time on the flowability of ground product (weight ratio between media and feldspar = 3:1).....	56
Table 5.2 Effect of grinding time on the flowability of ground product (weight ratio between media and feldspar = 5:1).....	56
Table 5.3 Effect of grinding time on the particle shape (weight ratio between media and feldspar = 3:1).....	58
Table 5.4 Effect of grinding time on the particle shape (weight ratio between media and feldspar = 5:1).....	59
Table 5.5 Effect of weight ratio between media and feldspar on the flowability (grinding time = 20 minutes).....	61
Table 5.6 Effect of weight ratio between media and feldspar on the particle shape (grinding time = 20 minutes).....	63
Table 5.7 Analysis variance for determining the difference of fractal dimension of ground feldspar in sizes range 210-297 micron.....	67
Table 5.8 Analysis variance for determining the difference of fractal dimension of ground feldspar in the same milling condition but different size.....	68

LIST OF FIGURES

	page
Figure 2.1 Strain of a crystal lattice resulted from tensile or compressive stresses.....	5
Figure 2.2 The relationship between Stress-Strain of Materials.....	6
Figure 2.3 Stress concentration at a crack tip.....	6
Figure 2.4 A broad classification of powder characteristics.....	11
Figure 2.5 Determination of fractal dimension of particle shape.....	14
Figure 2.6 Particle shape profile and a graph for determining fractal dimension of a calcium carbonate particle.....	15
Figure 2.7 The angle of repose measurement.....	16
Figure 2.8 Bulk-density box for testing both aerated and packed bulk densities.....	20
Figure 2.9 Dispersibility test uses a plastic cylinder through which the sample is dropped onto a watch glass below.....	24
Figure 2.10 The normal probability curve. Relative frequency against standard deviation.....	28
Figure 4.1 Schematic diagram of the comminution system.....	42
Figure 4.2 A Vibration Mill used in this present work.....	43
Figure 4.3 Powder Characteristics Tester.....	45
Figure 4.4 Measurement, Calculations and Indexes.....	48
Figure 5.1 Size distribution of ground product obtained under various comminution conditions.....	50
Figure 5.2 Relationship between grinding time and average size.....	51
Figure 5.3 Relationship between weight ratio between media and feldspar and average size.....	51
Figure 5.4 Comparison of flowability of ground product in size ranges 149-210 micron.....	52

Figure 5.5 Relationship between grinding time and flowability of overall ground product.....	54
Figure 5.6 Relationship between weight ratio between media and feldspar and flowability of overall ground product (grinding time = 20 minutes).....	54
Figure 5.7 Relationship between grinding time and flowability in three sizes ranges (weight ratio between media and feldspar = 3:1).....	57
Figure 5.8 Relationship between grinding time and flowability in three sizes ranges (weight ratio between media and feldspar = 5:1).....	57
Figure 5.9 Effect of grinding time on the fractal dimension in three sizes ranges (weight ratio between media and feldspar = 3:1).....	59
Figure 5.10 Effect of grinding time on the fractal dimension in three sizes ranges (weight ratio between media and feldspar = 3:1).....	60
Figure 5.11 Relationship between weight ratio between media and feldspar and flowability in three sizes ranges (grinding time = 20 minutes).....	62
Figure 5.12 Effect of weight ratio between media and feldspar on the fractal dimension in three sizes ranges (grinding time = 20 minutes).....	64
Figure 5.13 Relationship between the flowability and the value of fractal dimension of ground product in sizes ranges 149-210 micron.....	65
Figure 5.14 Relationship between the flowability and the value of fractal dimension of ground product in sizes ranges 210-297 micron.....	66
Figure 5.15 Relationship between the flowability and the value of fractal dimension of ground product in sizes ranges 297-420 micron.....	66

NOMENCLATURE

A	aerated bulk density [g / cu. cm]
C	compressibility [-]
D	fractal dimension [-]
D_F	particle size of feed [micron]
D_P	particle size of product [micron]
E_B	energy required for comminution from Bond's theory [kilowatt]
E_K	energy required for comminution from Kick's theory [kilowatt]
E_R	energy required for comminution from Rittinger's theory [kilowatt]
k	the number of population [-]
K_B, K_B'	constant from Bond's theory [-]
K_K, K_K'	constant from Kick's theory [-]
K_R, K_R'	constant from Rittinger's theory [-]
N(r)	the counted number of subsections that have the edge of particle [-]
n	the number of samples [-]
P	packed bulk density [g / cu. cm]
r	similarity ratio [-]
R	reduction ratio [-]
S_F	specific surface area of feed [m ² /g]
S_P	specific surface area of product [m ² /g]
s²	the variance of all the observations groups [-]
SSC	sum of squares of samples for column means [-]
SSE	error sum of square of samples [-]
SST	total sum of square of samples [-]
T	the total of all nk observations [-]
W	working bulk density [g /cu. cm]
W_i	work index [kilowatt hours per ton]
x	diameter of particle [micron]
\bar{x}	arithmetic mean diameter of particle [micron]

\bar{x}_g	geometric mean diameter [μm]
ϕ	general term for the frequency, being number, length, surface or volume
σ	standard deviation [-]
μ_i	mean of population i [-]
ε_{ij}	the deviation of the jth observation of the ith sample from the corresponding population mean [-]
α_i	the effect of the ith population [-]
α	level of significance [-]