

การคัดแยกประเภทอนุภาคของเมล็ดแมงลักบด
ด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์



นายหนู สมจรรยากุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

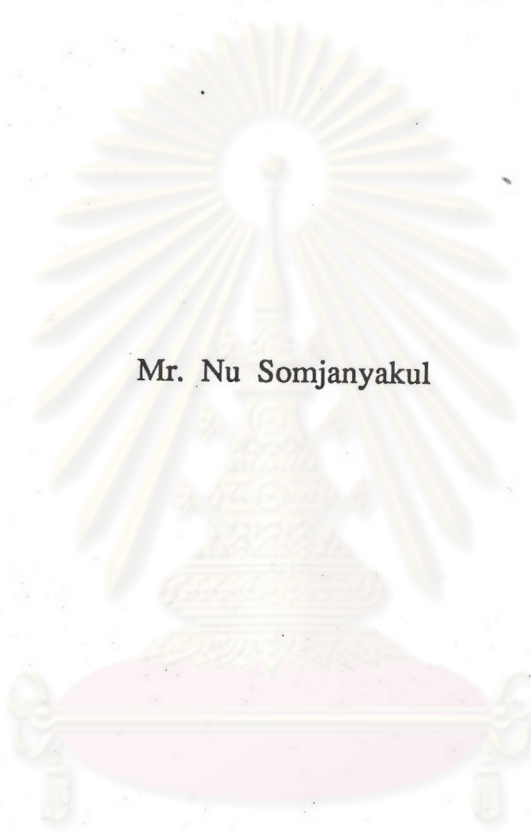
พ.ศ. 2531

ISBN 974-569-019-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014298

PARTICLE CLASSIFICATION OF
GROUND OCIMUM AMERICANUM L. SEEDS
WITH FLUIDIZED TECHNIQUE



Mr. Nu Somjanyakul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1988

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University.


Thesis Title Particle Classification of Ground *Ocimum americanum* L.
 Seeds with Fluidized Technique

By Nu Somjanyakul


Department Chemical Engineering

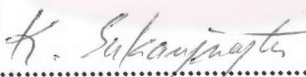
Thesis Advisor Assoc. Prof. Kroekchai Sukanjanajtee, Ph.D.

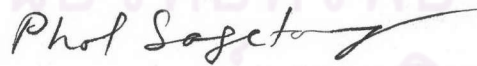
Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial
Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

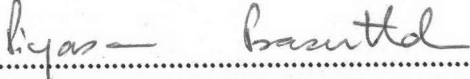

.....Dean of Graduate School
(Prof. Thavorn Vajrabhaya, Ph.D.)


Thesis Committee


.....Chairman
(Assist. Prof. Chairit Satayaprasert, Dr. Ing.)


.....Thesis Advisor
(Assoc. Prof. Kroekchai Sukanjanajtee, Ph.D.)


.....Thesis Co-advisor
(Assoc. Prof. Phol Sagetong, Dr. Ing.)


.....Member
(Assoc. Prof. Piyasan Prasertdam, Dr. Ing.)


.....Member
(Assist. Prof. Sasithorn Boon-Long, Dr. 3 ème cycle)

หนู สมจรรยากุล : การคัดแยกประเภทอนุภาคของเมล็ดแมงลักกับดด้วยเทคนิคฟลูอิดไรซ์
(PARTICLE CLASSIFICATION OF GROUND *OCIMUM AMERICANUM* L. SEEDS WITH
FLUIDIZED TECHNIQUE) อ. ที่ปรึกษา: รศ. ดร. เกริกชัย สุกาญจน์จิ และ รศ. ดร. พล
สาเททอง, 160 หน้า

ฟลูอิดไรซ์เทคนิคได้นำมาใช้สำหรับการคัดแยกประเภทอนุภาคของผงเมล็ดแมงลักกับด ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของตัวผงเมล็ดแมงลักนั้นก่อให้เกิดอุปสรรคเมื่อทำการคัดแยกด้วยกระบวนการที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมคัดแยกประเภทอนุภาคเมล็ดแมงลักกับด โดยอาศัยหลักการขับพ้อออกจากเครื่องฟลูอิดไรซ์ และเพื่อเป็นการรวบรวมข้อมูลสำหรับการออกแบบเครื่องและดำเนินการผลิตในโอกาสต่อไป

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผงเมล็ดแมงลักซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการฟลูอิดไรซ์พบว่าผงนี้ประกอบด้วยอนุภาค 3 ชนิดที่แตกต่างกัน คือ ส่วนของเปลือกเมล็ด ส่วนของสารซึ่งพองตัวในน้ำ และส่วนของเนื้อเมล็ด ความหนาแน่นของอนุภาคทั้งสามชนิดหลังจากผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกันมาก คือ ประมาณ 1,400 กก/ม³ ผงเมล็ดแมงลักนี้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0-840 ไมครอน โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 150 ไมครอน

การวิจัยนี้ได้กำหนดเป้าหมายที่จะขจัดอนุภาคซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 120 ไมครอน (120 เมช) ด้วยการขับพ้อออกจากระบบโดยวิธีการฟลูอิดไรซ์แบบแบทช์ จากการทดลองคัดแยกพบว่าพฤติกรรมขับพ้ออนุภาคเบี่ยงเบนไปจากความสัมพันธ์เฟิร์สคออร์เดอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคขนาดกลางซึ่งอยู่ในช่วง 74-150 ไมครอน ความเร็วลมเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งต่อการขับพ้ออนุภาค ที่ความสูงของเครื่องเหนือ 1 เมตรขึ้นไปจะมีผลกระทบต่ออัตราการขับพ้ออนุภาคขนาดกลางน้อยมาก อย่างไรก็ตามอัตราการขับพ้ออนุภาคนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของเครื่องต่ำกว่า ที่ ซี เอช นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการขับพ้ออนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 44 ไมครอน จะไม่ขึ้นกับความสูงของเครื่อง ปรากฏหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่ากระบวนการที่เกิดขึ้นในฟลูอิดไรซ์เบดอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการขับพ้ออนุภาคของผงเมล็ดแมงลัก ทั้งนี้อาจสืบเนื่องจากความเป็นผงละเอียดของผงสารนี้และการเกิดผลกระทบระหว่างกันของอนุภาคต่างชนิดที่เป็นส่วนประกอบในระบบ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า วิธีการนี้เหมาะสมที่จะใช้ในทางเภสัชอุตสาหกรรมเพื่อการคัดแยกประเภทอนุภาคของเมล็ดแมงลักกับด จากพื้นฐานการทดลองนี้ การผลิตเชิงอุตสาหกรรมเพื่อขจัดอนุภาคตามขนาดที่กำหนดไว้สามารถกระทำที่ความเร็วลม 1.15 เมตร/วินาที โดยมีความสูงของเครื่องประมาณ 1.5 เมตร แต่ละแบทช์ที่ผลิตใช้เวลาประมาณ 30 นาที ให้ผลผลิตราว 0.3 กิโลกรัม โดยใช้พลังงานเพียง 0.15 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา K. Sukanyajit

NU SOMJANYAKUL : PARTICLE CLASSIFICATION OF GROUND *OCIMUM AMERICANUM* L. SEEDS WITH FLUIDIZED TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KROEKCHAI SUKANJANAJTEE, Ph.D., AND ASSOC. PROF. PHOL SAGE-TONG, Dr. Ing.,160 pp.

Fluidized technique was introduced for classification of ground ocimum seed powder because of its prohibiting nature to other separation process by powder itself. The purpose of this study is to investigate the classification phenomena of ground ocimum seed powder by mean of elutriation, and to collect data for further design and operation.

Physical characteristics of this powder concerning fluidization were investigated. It contains three species of particles that are fractions of seed coat, swelling substance and seed core. All species possess nearly the same density of about 1400 kg/m^3 after drying at 70°C for 1 hour. The particles size of this powder are ranging from 0-840 μm with the average diameter of about 150 μm .

It was planned to remove the particles which were smaller than 125 μm (120 mesh) by elutriation from batch fluidization process. Study of particle classification revealed that elutriation rate deviated from first order correlation, especially the intermediate particles of 74-150 μm . Superficial gas velocity was the most important factor on elutriation. When freeboard was provided over 1 m high, little effect was observed on elutriation of intermediate particles, The rate was, however, increased while freeboard was lower than TDH. In addition, elutriation of particles smaller than 44 μm was independent of freeboard height. For system of ocimum seed powder, it was evident that bed hydrodynamics may also involve in the elutriation process. This might due to the fine nature of powder itself and particulate interaction of different particle species.

Results of this study showed that this method was suitable for classification of ocimum seed powder in the pharmaceutical industry. Based on this experiment, for the specified size range, the pilot scale process could be performed under the freeboard height of 1.5 m and gas velocity of 1.15 m/s. For each batch of operation, it took only about 30 minutes time to yield 0.3 kg product, and approximately 0.15 kw-hr energy was required.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา K. Sukanjanajtee

Acknowledgement

I am so much indebted to the Faculty of Pharmacy, Mahidol University, Faculty of Engineering and Graduate School, Chulalongkorn University, for giving me the opportunity to study in the Master degree program in Chemical Engineering. I wish to thank The Thesis Committee, Dr. Chairit Satayaprasert, chairman, Dr. Piyasan Praserttham and Dr. Sasithorn Boon-Long, members, which are gratefully acknowledged for their invaluable advice. I deeply appreciate Dr. Kroekchai Sukarnjanajee, my advisor, and Dr. Phol Sagethong, my co-advisor, for their unfailing support, without which this thesis would not have been accomplished.

I would like to express my special thanks to Assoc. Prof. Suthin Siripraiwan, the director of the "Development of Ocimum Seeds as a Bulk Laxative Drug Project", for her encouragement and support of this thesis, and to this project for financial support.

Finally, thankfulness is specially given to my parents who have given so much in my life, and to whom this thesis is dedicated.

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Table of Contents

	page
Abstracts (Thai)	i
Abstracts (English).....	ii
Acknowledgement.....	iii
List of Tables.....	vii
List of Figures.....	viii
Notations	x
Chapter _____	
1. Introduction	1
2. Particle Size Classification by Fluidization.....	3
2.1 Characteristic of fluidized bed	3
2.2 Entrainment and elutriation	6
2.2.1 Early development	6
2.2.2 Kunii and Levenspiel's model	7
2.2.3 Wen and Chen's model	10
2.3 Multi-size, one kind powder bed	14
2.4 Two-kind powder bed.....	14
2.5 Transport disengagement height	14
2.6 Fluidization characteristics of Geldart's group A powder.....	16
3. Experiment on Characteristics of Ground Ocimum Seed Powder	20
3.1 Determination of moisture content.....	23
3.2 Powder analysis.....	23
3.2.1 Experimental procedure	23
3.2.1.1 Sieving.....	23
3.2.1.2 Optical microscopic observation	26
3.2.1.3 Swelling properties	26
3.2.2 Results and discussions	26
3.2.2.1 Composition of ground ocimum seed powder.....	26
3.2.2.2 Particle size analysis.....	29
3.2.2.3 Particle shape factor.....	35
3.2.2.4 Swelling properties	35

3.3 Density	40
3.3.1 True density	40
3.3.2 Density of dry particle	40
3.3.3 Bulk density	42
4. Equipment and Experimental Method on Classification of Ocimum Seed Powder.....	46
4.1 Equipment and experimental conditions.....	46
4.1.1 Range of superficial gas velocity	46
4.1.2 Range of freeboard height.....	48
4.1.3 Construction of fluidization unit.....	48
4.2 Experimental method	51
4.2.1 Sample preparation	51
4.2.2 Measurement of superficial gas velocity	53
4.2.4 Experimental procedure.....	53
4.3 Method of data assessment	54
4.3.1 Prediction of elutriation rate from proposed model	54
4.3.1.1 Program for data management.....	61
4.3.1.2 Program for particle size analysis.....	61
4.3.1.3 Program for calculating Wen and Chen's model	61
4.3.2 Determination of elutriation rate expression..... from experiment	62
5. Results and Discussions on Classification of Ocimum Seed Powder ...	74
5.1 Results	74
5.1.1 Classification of ocimum seed powder	65
5.1.2 Elutriation of ocimum seed powder	72
5.2 Discussions.....	85
5.2.1 Effect of superficial gas velocity	85
5.2.2 Effect of freeboard height	87
5.2.3 Effect of particle size and content	89
5.2.4 Evidences of particle-particle interaction.....	89
5.2.5 Fluidization and elutriation phenomena of ocimum seed powder.....	90
5.2.5.1 Slug flow characteristics	90
5.2.5.2 Elutriation of multi-size powder system.....	91
5.2.5.3 Effect of particle-particle interaction.....	93

5.2.6 Elutriation rate correlation	93
5.2.7 Classification of ocimum seed powder and design of operation unit.....	94
5.2.8 Economic point of view	95
6. Summary	97
References.....	100
Appendix.....	104
A. Specification of DATAMETRIC™ and method of determining for air flow rate correction factor	105
B. Experimental data input form and report form	107
C. Listing of computer program.....	109
D. Example calculation of computer program ; ENTRAIN.exe	120
E. A sample worksheet of non linear regression analysis for curve fitting.....	124
F. Plot of X_i/X_{i0} versus time of each experimental data set.....	126
G. Comparison of elutriation rate between W_i/W_{i0} and X_i/X_{i0}	141
H. Calculatiuon of efficiency, operating time and energy consumption for ocimum seed powder classification.....	162
Vita.....	166

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

List of Tables

Table	page
2.1 Published correlations for calculation of elutriation rate constant calculation.....	8
3.1 Apparent viscosity of ocimum seed swelling substance at various concentrations in water.....	22
3.2 Moisture content of ground ocimum seed powder	24
3.3 U.S. standard sieves and their opening used for ground ocimum seed particle size analysis	25
3.4 Particle size analysis of ground ocimum seed powder.....	36-37
3.5 Average particle size and weight distribution of ground ocimum seed powder	38
3.6 True density of ground ocimum seed powder.....	43
3.7 Experimental result of dry-particle density of ocimum seed powder in each particle cut-size	44
3.8 Bulk density of ocimum seed powder	45
4.1 Terminal velocity of each particle cut size	47
4.2 Average superficial gas velocity, calculated from duct center velocity.....	49
4.3 Height of column used in this experiment	49
5.1 Experimental data ; presented in value of W_i/W_{i0}	66-68
5.2 Experimental data ; presented in value of X_i/X_{i0}	69-71
5.3 Value of constants and coefficients of determination obtained from regression analysis	73-74
5.4 Estimated elutriation rate constant, calculated from Wen and Chen's Model	86

List of Figures

Figure	page
2.1 Schematic diagram of fluidized bed showing bubbling zone and freeboard zone	4
2.2 Schematic illustration of terms employed for the removal of solids from a bed	4
2.3 Upward and downward movement of particles according to their size in the freeboard zone.....	5
2.4 Schematic representation model to account for elutriation and entrainment from fluidized beds, according to Kunii and Levenspeil....	9
2.5 Characteristics of elutriation rate curve in multi-size one-kind one-kind powder bed.....	15
2.6 Simple graphic correlation based on Zenz & Weil (1958) and Zenz and Othmer (1960) for predicting TDH with fine solids.....	17
2.7 Powder classification diagram for fluidization by air (ambient condition) and characteristics of axisymmetric slug flow	18
3.1 Schematic representation showing ocimum seed structure.....	21
3.2 Adsorption and agglomeration of fine particles on sieve opening due to moisture (a), compared to sieve opening which free from fine particles when the the powder was dried before sieving(b).....	27
3.3 Three groups of particles roughly classified by apparent color	28
3.4 Comparison of ocimum seed powder fraction from microscope, x 100	30-34
3.5 Trimodal distribution characteristic of ground ocimum seed powder	39
3.6 The swelling capacity of particles in smaller than 44 μm group,	

compared with other classes.....	41
4.1 Photograph of fluidization unit	50
4.2 Flow diagram showing method of ocimum seed powder preparation	52
4.3 Bed container, assembled of distributor and bottom piece of bed column	54
4.4 Flowchart of computer programs ; DATA.prg, PCLEANAL.prg and ENTRAIN.exe (bas)	56-60
5.1 Effects of freeboard height and superficial gas velocity on elutriation rate of particles.....	75-83
5.2 Effect of superficial gas velocity on elutriation rate of ocimum seeds powder.....	88
5.3 Example of ocimum seed particle rate characteristics curves, represent the behavior of multi-size powder bed.....	92

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Notations

- A = a constant used for rate correlation in this study
 A_c = cross section area of the bed (m^2)
 a = constant representing the characteristics of the fluidized bed
 entrainment system (m^{-1})
 B = a constant used for rate correlation in this study
 b = a constant use in correlation of Hanesian and Rankell
 c_1, c_2 = constants use in correlation of Thomas *et al*
 D = fluidized bed column diameter (m)
 D_b = bubble diameter at the bed surface (m)
 D_{bm} = maximum bubble diameter due to total coalescences of bubbles (m)
 D_{bo} = equivalent bubble diameter right above the distributor (m)
 d_a = particle diameter according to sieve aperture (μm)
 d_p = particle diameter (μm)
 d_{pi} = particle diameter of close cut (i) (μm)
 d_{sm} = particle surface mean diameter (μm)
 $E_{i\infty}, E_{ial}$ = elutriation rate constant of particle size i (kg/m^2s)
 F_e = elutriation rate rate above TDH or entrainment rate at the
 saturation carrying capacity (kg/m^2s)
 F_{ei}, F_{ial} = elutriation rate of particle size i (kg/m^2s)
 F_i = the total elutriation rate of particle size i in the freeboard at a height
 (H) above the bed surface (kg/m^2s)
 F_o = entrainment rate at the bed surface (kg/m^2s)
 F_o = mass flow rate of particles projected from the bed surface, Kunii
 and Levenspiel's model (kg/s)
 F_{oi} = entrainment rate of particle size i at the bed surface (kg/m^2s)
 F_s = mass flow rate corresponding to the saturation carrying capacity of
 flowing gas stream, Kunii and Levenspiel's model (kg/s)

Ga	=	Galileo number
g	=	gravitational acceleration constant (m/s^2)
h	=	height of fluidized bed from distributor (m)
H	=	height above the dense bed surface (m)
K, K^*	=	rate coefficient according to Kunii and Levenspiel's model
k	=	elutriation velocity constant (s^{-1})
k_1, k_2	=	rate constant used in correlation of Hanesian and Rankell (kg/m^2s)
N_d	=	total number of orifices on distributor, perforated plate
Re, Re_p, Re_{mf}	=	Reynold's number
TDH	=	transport disengagement height or TDH (m)
t	=	time (s)
U	=	superficial gas velocity (m/s)
U_{mf}	=	minimum fluidization gas velocity (m/s)
U_t, U_{ti}	=	terminal velocity of particle (m/s)
u_1, u_2, u_3	=	upward and downward particles velocity in Kunii and Levenspiel's model (m/s)
W	=	weight of solid in the bed (kg)
W_i	=	weight of close cut particles in the bed (kg)
W_{io}	=	initial weight of particles size i in the bed (kg)
X_i	=	weight fraction of particle size i in the bed
X_{io}	=	initial weight fraction of particle size i in the bed
β	=	elutriation rate constant used in this experiment (s^{-1})
ϵ	=	voidage of particle in fluidized bed
ϵ_i	=	voidage of fine particle in freeboard
ϵ_{mf}	=	voidage of the bed at minimum fluidization condition
λ	=	solid friction coefficient
ρ_g	=	gas density (kg/m^3)
ρ_s	=	particle density (kg/m^3)
μ_g	=	viscosity of gas ($kg/m.s$)