

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการจำลองกระบวนการ
ป็นเม็ดปุ๋ยเอ็นพีเค



นาย วิสุทธิ์ วชิรบัญชา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สาขาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-668-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

27 เม.ย. 2548

218045431

MATHEMATICAL MODELING AND SIMULATION OF NPK
GRANULATION PROCESS

Mr. Wisut Wachirabanchorn

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

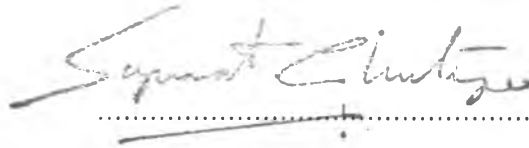
Academic Year 1997

ISBN 974-637-668-3

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

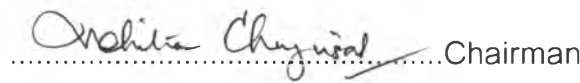
Thesis Title	Mathematical Modeling and Simulation of NPK Granulation Process.
By	Mr. Wisut Wachirabanchorn
Department	Chemical Engineering
Thesis Advisor	Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.

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
(Assistant Professor Vichitra Chongvisal, Ph.D.)



..... Thesis Advisor
(Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.)



..... Member
(Jirdsak Tscheikuna, Ph.D)

717702 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: GRANULATION

WISUT WACHIRABANCHORN : MATHEMETICAL MODELING AND SIMULATION OF NPK GRANULATION PROCESS.

THESIS ADVISOR : PROF. WIWUT TANTAPANICHAKOON, Ph.D. : 127 pp. ISBN 974-637-668-3

The discretized population balance model of Hounslow (Hounslow et al., 1988) is modified by Adetayo (1993) to obtain a mathematical model of the granulation process. The resulting sequential two-stage kernel follows the observed granulation mechanism adequately and is able to predict the shape of the granule size distribution for the full range of experimental data. A size-independent kernel is used for the first stage of growth while a size-dependent kernel models the second stage. The extent of granulation within the first stage, given by $k_1 t_1$, is found to be proportional to the fractional liquid saturation of the granules. Here, k_1 represents the rate constant for the first stage of growth and t_1 represents the time required to reach the final equilibrium size distribution for the first stage. A critical fractional water saturation S_{crit} , is necessary for the second stage of granulation to occur leading to further growth. For $S_{sat} < S_{crit}$, the second stage does not exist ($k_2 \approx 0$) an equilibrium size distribution is reached at time t_1 .

The present research adopts Adetayo's model, which is written in FORTRAN 77 tested and debugged. Validation of the component models (drum granulator, screen and crusher) is next carried out along with the corresponding sensitivity study of each constituent component model. Based on the actual plant data, the granulator model parameters are estimated for the fertilizer grade 16-16-18. Finally, a guideline on how to estimate the parameters of a industrial-scale model from those obtained with a small-scale granulator from those of a lab-scale one is explained and simulation of a industrial-scale granulation process is carried out to see the effect of the liquid phase content on the process performance. Simulation results show that the recycle ratio goes through a minimum as the liquid content increases.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา..... 2540

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

สมมติฐานเกี่ยวกับพฤติกรรมของพืชในกรณีศึกษาที่เฉพาะเจาะจง

วิสุทธิ วัชรปัญชร : การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการจำลองกระบวนการบั่นเม็ดปุ๋ยเอ็นพีเค (MATHEMATICAL MODELING AND SIMULATION OF NPK GRANULATION PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, 127 หน้า. ISBN 974-637-668-3

Adetayo (1993) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับกระบวนการบั่นเม็ด โดยการดัดแปลงแบบจำลองประเภทดุลประชากร (discretized population balance) ของ Hounslow (Hounslow et al., 1988) ผลการทำนายที่ได้จากสมมติฐานของกลไกการบั่นเม็ด โดยอาศัยแกนสองลำดับชั้น (sequential two-stage kernel) สามารถทำนายลักษณะการกระจายตัวของเม็ดได้เป็นอย่างดีที่ทุกผลการทดลอง แกนที่ไม่ขึ้นกับขนาดเป็นกลไกสำหรับการบั่นเม็ดในชั้นที่ 1 ส่วนแกนที่ขึ้นกับขนาดเป็นกลไกสำหรับการบั่นเม็ดในชั้นที่ 2 ระดับของการบั่นเม็ดในชั้นที่ 1 ซึ่งแสดงด้วย $k_1 t_1$ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของเหลวในเม็ด S_{sat} ในที่นี้ k_1 คือค่าคงที่ของอัตราการบั่นเม็ดสำหรับชั้นที่ 1 และ t_1 เป็นเวลาที่ทำให้การกระจายขนาดของเม็ดเข้าสู่จุดอิ่มตัว (equilibrium) ค่าวิกฤตของสัดส่วนความชื้นอิ่มตัว (S_{crit}) จำเป็นสำหรับการเกิดกระบวนการบั่นเม็ดในชั้นที่สอง ในกรณีที่ $S_{sat} < S_{crit}$ จะไม่เกิดการบั่นเม็ดในชั้นที่สอง ($k_2 \approx 0$) และการกระจายขนาดของเม็ดจะเข้าสู่จุดอิ่มตัว (equilibrium) ที่เวลา t_1

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Adetayo โดยเขียน โปรแกรมขึ้นด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 หลังทำการทดสอบและแก้ที่ผิด จากนั้นได้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแต่ละหน่วยที่เป็นส่วนประกอบของกระบวนการอันได้แก่ เครื่องบั่นเม็ดแบบดรัม เครื่องคัดขนาดและเครื่องบด แล้วทำการศึกษาความไว (sensitivity) ของแบบจำลองแต่ละหน่วยข้างต้นโดยอาศัยข้อมูลจริงของปุ๋ยสูตร 16-16-8 จากโรงงาน ได้ประเมินค่าพารามิเตอร์ของเครื่องบั่นเม็ดแบบดรัม สุดท้ายได้อธิบายแนวทางสำหรับการประเมินค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองระดับอุตสาหกรรม จากค่าที่หาได้จากแบบจำลองระดับเล็ก และได้ทำการจำลองกระบวนการบั่นเม็ดระดับอุตสาหกรรม เพื่อการศึกษาผลที่ปริมาณของวัฏภาคของเหลวมีต่อสมรรถนะของกระบวนการ ผลการจำลองพบว่า อัตราส่วนของสายเยียนกลับจะลดลงผ่านจุดต่ำสุดในขณะที่ความชื้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิติ วิสุทธิ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. ตันตะพานิชกุล
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to express his highest gratitude to Professor Dr. Wiwut Tanthapanichkoon for his inspirational advice, guidance and supervision during this research study. He is also grateful to Assistant Professor Dr. Vichitra Chongvisal and Dr. Jirdsak Tscheikuna for serving as chairman and member of the thesis committee as well as Associate Professor Dr. Ura Pancharoen for his kind support.

He wishes to express his deep appreciation to Prof. J.D. Lister, University of Queensland, Australia, for his valuable advice and sending of reference materials on granulation technology.

Most of all, the author would like to express his highest gratitude to his parents for their inspiration and encouragement during his research.

He would like to thank National Fertilizer Public Company Limited for providing the data and Department of Chemical Engineering, Chulalongkorn University.

Finally, many thanks also go to his friends and all those who have encouraged him over the years of his study.

CONTENTS

		PAGE
ABSTRACT (IN ENGLISH).....		i
ABSTRACT (IN THAI).....		ii
ACKNOWLEDGEMENT.....		iii
LIST OF TABLES.....		iv
LIST OF FIGURES.....		v
 CHAPTER		
1	INTRODUCTION.....	1
1.1	Introduction to Granulated Fertilizer.....	1
1.1.1	Overview of world fertilizers.....	1
1.1.2	Overview of Thailand fertilizers.....	5
1.1.3	Knowledge of NP/NPK fertilizer.....	6
1.1.4	Process Description To NP/NPK Fertilizer Granulation Process.....	8
1.2	Objectives of Thesis.....	10
1.3	Scope of Work.....	10
2	FUNDAMENTAL CONCEPT OF GRANULATION MECHANISM.....	11
2.1	Basic Concept of Granulation Mechanism.....	11
2.1.1	Intermolecular Level to Granulation.....	12
2.1.1.1	The particle-particle attractive forces.....	12
2.1.1.2	Interparticle bridge bonding.....	12
2.1.2	Macroscopic Analysis of Granulation Mechanisms.....	14
2.1.2.1	Granule growth mechanism and the proposed growth kinetics.....	14
2.1.2.2	Effect of some factors on the granulation.....	20
	- Granulation Kinetics	
	- Effect of initial particle size distribution	
	- Effect of liquid phase content	

	- Effect of binder properties	
	- Granule deformability and consolidation	
2.2	Prediction of Granulation Regime From the Dynamic Pendular Bond Analysis.....	24
2.2.1	Limitations of Ennis's analysis as applied to drum granulation.....	29
2.3	The Propose of a Two Stages Granulation Mechanism.....	30
2.3.1	Explanation in term of Ennis's theory.....	34
3	LITERATURE SURVEY OF GRANULATION	
	PROCESS SIMULATION	35
3.1	A Review of Drum Granulator Models.....	35
3.1.1	The drum granulator model.....	35
	- Lister's Model	
	- Sherrington's Model	
	- Adetayo's Model	
3.1.2	The Screens Model.....	39
3.1.2.1	Screen model as applied to the granulation process.....	40
3.1.3	The Crusher Model.....	41
3.1.3.1	Crusher model as applied to the granulation process.....	43
3.2	The Population Balance Modeling For Drum Granulator.....	46
3.2.1	The Population Balance Equation.....	46
3.2.2	The Hounslow's Model.....	48
3.3	Solution to Population Balance Equation.....	50
3.3.1	The coalescence kernel.....	50
3.3.1.1	The two-stage coalescence kernel.....	51
3.3.1.2	Estimation of the coalescence rate constants.....	53
4	SIMULATION TECHNIQUE	54
4.1	Data Manipulation and Analysis.....	54
4.1.1	Measuring the particle size.....	54
4.1.2	Relationship between Number, Volume and Mass of particles.....	54
4.1.3	Presentation of the particle size distribution.....	55

4.1.4	Measuring of liquid content.....	55
4.2	Modeling Technique.....	59
4.2.1	Granulation Drum Modeling of Drum Granulator.....	59
4.2.2	Modeling of Screen.....	60
4.2.3	Crusher Modeling.....	60
5	VALIDATION OF COMPONENT MODELS.....	61
5.1	Validation of drum granulator model.....	61
5.1.1	Comparison of the present simulation results with Adetayo's experimental data.....	62
5.1.2	Sensitivity analysis of the present drum granulator model.....	64
5.2	Validation of screen model.....	65
5.2.1	Comparison of the present simulation results with published plant data.....	65
5.2.2	Sensitivity analysis of the present screen model.....	65
5.3	Validation of crusher model.....	66
5.3.1	Comparison of the present simulation results with published plant data.....	66
5.3.2	Sensitivity analysis of the present crusher model.....	67
6	SIMULATION OF A FERTILIZER GRANULATION PRECESS.....	84
6.1	Introduction.....	84
6.2	Estimation of the Coalescence Constant for Grade 16-16-8.....	85
6.3	Simulation of a Fertilizer Granulation Process to See the Effects of Solution Phase Ratio.....	86
6.3.1	The Scaling-up Criterion.....	86
6.3.2	Simulation Result.....	90
7	CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS.....	97
	REFERENCES.....	99
	APPENDIX I.....	103
	APPENDIX II.....	106
	BIOGRAPHY.....	115

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
1.1 Projections of Fertilizer demand based on 1964 - 65 to 1974 - 75 and on the joint working group estimates for 1979 -80.....	3
1.2 Estimate show the magnitude of increase in the use of all fertilizer in period 1975 - 2000.....	4
1.3 Thailand fertilizer consumption for the year 1984 - 1993.....	5
2.1 A summary of two stages mechanism.....	33
5.1 Coalescence rate constant for AS, MAP and DAP.....	63

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
1.1 World Fertilizer Use : Projection 1980 - 2000.....	4
1.2 Schematic diagram of a fertilizer granulation plant.....	9
2.1 Kinetics of tumble/growth agglomeration involve various phenomena.....	16
2.2 Schematic of two colliding granule each covered by a various layer of thickness h	26
2.3 Effect of granulation time on the mass frequency distribution for DAP fertilizer.....	32
2.4 Variation of the median granule diameter, D_{50} with the solution phase ratio for A/S, DAP, MAP.....	32
3.1 Schematic diagram of crusher model.....	42
4.1 Presentation of the particle size distribution. From the top to bottom, Cumulative mass distribution; Histogram and Mass density function respectively.....	56
5.1 Comparison of the predicted cumulative mass fraction with experimental data for type I initial size distribution of DAP with 4% moisture content granulated for 25 minutes.....	69
5.2 Simulation result VS experimental data (Adetayo, 1993) for AS at 4% moisture content.....	70
5.3 Simulation result VS experimental data (Adetayo, 1993) for AS at 6% moisture content.....	71
5.4 Simulation result VS experimental data (Adetayo, 1993) for AS at 8% moisture content.....	72
5.5 Simulation result VS experimental data (Adetayo, 1993) for MAP at 4% moisture content.....	73

5.6	Simulation result VS experimental data (Adetayo, 1993) for MAP at 6% moisture content.....	74
5.7	Simulation result VS experimental data (Adetayo, 1993) for MAP at 8% moisture content.....	75
5.8	Simulation result VS experimental data (Adetayo, 1993) for DAP at 2% moisture content.....	76
5.9	Simulation result VS experimental data (Adetayo, 1993) for DAP at 4% moisture content.....	77
5.10	Simulation result VS experimental data (Adetayo, 1993) for MAP at 6% moisture content.....	78
5.11	Sensitivity analysis of granulation drum model.....	79
5.12	Comparison of the predicted and observed cumulative mass fraction for the screen.....	80
5.13	Sensitivity analysis of screen model.....	81
5.14	Comparison of the simulated and plant crushed granule data by Lister (1989).....	82
5.15	Sensitivity analysis of crusher model.....	83
6.1	Simulation result and NFC plant data for fertilizer grade 16-16-8.....	92
6.2	Simulation result shown the variation average granule diameter with liquid phase content.....	93
6.3	Effect of solution phase ratio on the oversize mass flowrate to fertilizer grade 16-16-8.....	94
6.4	Effect of solution phase ratio on the undersize mass flowrate to fertilizer grade 16-16-8.....	95
6.5	Effect of solution phase ratio on the recycle ratio of fertilizer grade 16-16-8.....	96