การจำลองอนุภาคแบบดิสครีตของสเปาเต็ดเบดที่มีการถ่ายเทความร้อน

นาย ธนิต สวัสดิ์เสวี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17--3950-8

DISCRETE PARTICLE SIMULATION OF SPOUTED BED WITH HEAT TRANSFER

Mr. Thanit Swasdisevi

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic year 2003
ISBN 974-17--3950-8

Thesis Title	DISCRETE PARTICLE SIMULATION OF SPOUTED BED WITH HEAT TRANSFER
By	Mr. Thanit Swasdisevi
Field of Study	Chemical Engineering
Thesis Advisor	Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Professor Yutaka Tsuji, Ph.D.
	Associate Professor Tawatchai Charinpanitkul, D.Eng.

Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Doctor 's Degree

.... Dean of the Faculty of Engineering

(Professor Direk Lavansiri, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

.... Chairman

(Associate Professor Chirakarn Muangnapoh,D.Ing.)

.... Thesis Advisor

(Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.)

.... Thesis Co-advisor

(Professor Yutaka Tsuji, Ph.D.)

.... Thesis Co-advisor

(Associate Professor Tawatchai Charinpanitkul)

.... Member

(Professor Pramote Dechaumphai, Ph.D.)

.... Member

(Associate Professor Sunun Limtrakul)

ธนิต สวัสดิ์เสวี: การจำลองอนุภาคแบบดิสครีตของสเปาเต็ดเบดที่มีการถ่ายเทความร้อน (DISCRETE PARTICLE SIMULATION OF SPOUTED BED WITH HEAT TRANSFER) อ. ที่ปรึกษา: ศ.ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ศ.ดร.ยูตากะ ซือจิ, รศ. ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล จำนวนหน้า 115 หน้า. ISBN 974-17-3950-8

อากาศพลศาสตร์ของอนุภาคและการไหลของแก๊สในสเปาเต็ดเบดแบบสองมิติที่มีแผ่นกั้น (draft plates) อยู่ภายใน ได้ถูกศึกษาโดยอาศัยวิธีการแบบดีสครีตอีลิเมนต์ (Discrete element method) รูปทรงของสเปาเต็ดเบดแบบสองมิติที่มีแผ่นกั้นถูกกำหนดให้ใกล้เคียงกับการทดลองของ Kudra, 1992 และ Kalwar, 1991 คุณสมบัติของอนุภาคกำหนดให้ใกล้เคียงกับข้าวโพด ผลการคำนวณความเร็วต่ำสุดในการเกิดสเปาและความดันลด สอดคล้องตามความสัมพันธ์ของ Kudra, 1992 และ Kalwar, 1991 ในบริเวณสเปาพบว่าความเร็วในแนวดิ่งของอนุภาคลดลงตามความสูงของภาชนะที่เพิ่มขึ้น อัตราการไหลเวียนของอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงหรือ ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นที่อยู่ในสเปากับฐานของภาชนะ (Separation height) เพิ่มขึ้นที่จุดความเร็วต่ำสุดในการเกิดสเปา ความสูงของเบดไม่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลเวียนของอนุภาคในสเปาเต็ดเบดแบบสองมิติที่มีแผ่นกั้นอยู่ภายใน แผ่นกั้นที่อยู่ภายในสเปา ไม่เพียง ช่วยลดความเร็วต่ำสุดในการเกิดสเปา และ ความดันลด แต่ ยังช่วยเพิ่มความสูงของเบดในการเกิดสเปา (Maximum spoutable bed height) ผลกระทบของการนำแผ่นกั้นภายในสเปาออกต่อปรากฏการณ์การเกิดสเปา และผลกระทบของแผ่นกั้นที่ด้านบนของสเปา (Deflector) ต่อการแตกหักของเมล็ด ได้ถูกศึกษาด้วย การถ่ายเทความร้อนระหว่างแก๊สไปยังอนุภาคในสเปาเต็ดเบดแบบสองมิติที่มีแผ่นกั้นอยู่ภายในได้ถูกศึกษาโดยใช้วิธีการแบบดีสครีตอิลิเมนต์ร่วมกับแบบจำลองทางความร้อนที่ได้พัฒนาขึ้นมา ผลการศึกษาพบว่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างแก๊สไปยังอนุภาคเกิดขึ้นส่วนใหญ่ในบริเวณสเปา ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Freitas and Freire (1998).

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี...........ลายมือชื่อนิสิต...

สาขาวิชา...วิศวกรรมเคมี............ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.......................

ปีการศึกษา...2546...................ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....................

##4271804221: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD:DEM SIMULATION/ TWO-DIMENSIONAL SPOUTED BED/ HEAT TRANSFER

THANIT SWASDISEVI: DISCRETE PARTICLE SIMULATION OF SPOUTED BED WITH HEAT TRANSFER. THESIS ADVISOR: PROF.WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : PROF. YUTAKA TSUJI, Ph.D., ASSOC.PROF: TAWATCHAI CHARINPANITKUL, D.Eng., 115 pp. ISBN 974-17-3950-8

The aerodynamics of particles and gas flow in a two-dimensional spouted bed (2DSB) with draft plates is investigated with the aid of the Discrete Element Method (DEM). The geometry of the 2DSB with draft plates is set as close as possible to the experimental apparata of Kudra (1992) and Kalwar (1991). The physical properties of the coarse pareticles are similar to those of shelled corn. The calculated minimum spouting velocity and pressure drop agrees well with the correlations of Kudra (1992) and Kalwar (1991). In the spout region, the particle vertical velocities are found to decrease as the height increases. The fluid velocity in the downcomer region decreases as the superficial gas velocity increases. The particle circulation rate increases when the friction coefficient decreases or the separation height increases. At the minimum spouting velocity, the bed height does not affect the particle circulation rate in the 2DSB with draft plates. The draft plates not only reduce the minimum spouting velocity and pressure drop but also a increases the maximum spoutable bed height. The effect of taking out the draft plates on the spouting phenomenon is investigated and the effect of putting in a deflector on the possible breakge of the particles are also estimated. The gas-to-particle heat transfer in 2DSB with draft plates is also investigated with the aid of the DEM and the developed thermal model. It is found that the gas-to-particle heat transfer occurs mainly in the central or spout region of the bed as the reported by Freitas and Freire (1998).

Department ....Chemical Engineering........ Student's signature............................

Field of study......Chemical Engineering.........Advisor's signature............................

Academic year....2003...............................Co-advisor's signature............................

ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to express his gratitude to Prof. Wiwut Tanthapanichakoon, thesis advisor, Prof. Yutaka Tsuji, thesis co-advisor and Assoc. Prof. Tawatchai Charinpanitkul, thesis co-advisor, for their encouraging guidance and valuable suggestions throughout this project.

The author is grateful to Thailand Research Fund (TRF) for its Royal Golden Jubilee PhD Scholarship, and to Association of International Education Japan (AIEJ) for its 1-year and 2 months student exchange scholarship to do research in Osaka University. The author is also grateful to Chulalongkorn University (TJTTP-JBIC Project) for supporting their short-term stays to carry out research collaboration between Osaka University and Chulalongkorn University.

Furthermore, the author would like to express his gratitude to Assoc. Toshitsugu Tanaka and Dr. Toshihiro Kawaguchi for their valuable suggestion, useful comments and kindly assistant when the author stayed at Osaka University.

Moreover, the author is grateful to the members of the dissertation committee, Prof. Pramote Dechaumphai, Assoc. Prof. Chirakarn Muangnapoh, and Assoc. Prof. Sunun Limtrakul for their useful comments.

Additionally, the author is grateful to King Monkut's University of Technology Thonburi for giving a chance to study on Ph.D. program at Chulalongkorn University.

In addition, the author wishes to express his appreciation to his colleagues in Particle Technology and Material Processing (PTMP) Laboratory and Tsuji Laboratory especially Dr. Katsuaki Odagi, Mr. Tomonori Kobayashi, Mr. Sutoshi Kajiyama and Mr. Takashi Kiyooka for their assistance on computer facility as well as the useful advice.

Eventually, the author would like to express the appreciation to his parents for their encouragement throughout this course.

CONTENTS

CONTENT (Continued)

CONTENT (Continued)

CONTENT (Continued)

LIST OF TABLES

Page

LIST OF FIGURES

LIST OF FIGURES (Continued)

LIST OF FIGURES (Continued)

NOMENCLATURES

A_d	cross-sectional area of downcomer, m^2
A_p	external area of a particle, m^2
c_p	heat capacity, J/kg K
d	diameter, m
F	force, N
f_c	contact force, N
f_D	drag force, N
f_{pi}	interaction force between the fluid and particles, N
g	gravity acceleration, m/s^2
h	heat transfer coefficient between a particle and its external gas, $J/K/m^2/s$
H_b	bed height, m
H_d	spout height, m
H_e	entrance height or separation height, m
I	moment of inertia, kg m^2
k	thermal conductivity, W/m K
k_n	spring constant in normal direction, N/m
k_t	spring constant in tangential direction, N/m
L_b	bed length, m
m	mass of a particle, kg
Δn	relative displacement, m
n_{ij}	unit vector from the center of particle i to that of particle j, -
Nu	Nusselt number, -
p	gas pressure, Pa
ΔP	pressure drop, Pa
Pr	Prandtl number, -
Q_s	heat transfer between a particle and gas, $J/s/m^3$
R_d	distance from the spout central axis to the draft plate, m
Re	Reynolds number, -

NOMENCLATURE (Continued)

r	distance, m/s
s	slot width, m
t	time, second
t_0	initial time, second
T	temperature, K or torque,
Δt	time step, second
u	gas velocity, m/s
u_i	superficial gas velocity at inlet gas, m/s
u_{ms}	minimum spouting velocity, m/s
v	particle velocity or velocity vector or fluid velocity, m/s
v_{rij}	velocity vector of particle i relative to particle j, m/s
v_{sij}	the slip velocity of the contact point, m/s
v_p	particle velocity above slanting base, m/s
$\overline{v}_{pi}$	average particle velocity, m/s
V_p	volume of a particle, m^3
V	volume of a fluid cell ($\Delta x * \Delta y * \Delta z$)
W	vessel width, m
W_d	spout width, m
W_i	width of gas inlet, m
W_s	mass flow rate of particle, kg/s
x_1	displacement of particle 1 in x direction, m/s^2
y	distance from the central spout axis in y direction, m
y_1	displacement of particle 1 in y direction, m/s^2
z	distance from the bottom of the vessel in z direction, m

Greek letters

ε	void fraction, -
ρ_b	bulk density, $\rho_b = \rho_p(1-\varepsilon)$, kg/m^3
ρ_g	gas density, kg/m^3

NOMENCLATURE (Continued)

ρ_p	particle density, kg/m^3
ϕ	sphericity or dependent variable, -
θ	slant angle, degree
ε	void fraction, -
ω	angular velocity,
η	damping coefficient
μ_f	friction coefficient, -
μ_g	gas viscosity of gas phase, Pa s
δ_{nij}	particle displacement caused by normal force
δ_{tij}	particle displacement caused by tangential force
α_R	relaxation factor
$(\cdot)$	time derivative
Superscript	
*	assumed value
′	modified value
Subscript	
N	North
S	South
E	East
W	West
n	north surface
s	south surface
e	east surface
w	west surface
p	particle
g	gas
d	disperse phase (particle)
c	continuous phase (gas)