BUBBLES IN A TWO-DIMENSIONAL FLUIDIZED BED

Mr. Kitti Booncharoen

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University
in Academic Partnership with
The University of Michigan, The University of Oklahoma,
and Case Western Reserve University
2001

ISBN 974-130-699-7

I19692298

Thesis Title	:	Bubbles in A Two-Dimensional Fluidized Bed
By	:	Mr. Kitti Booncharoen
Program	:	Petrochemical Technology
Thesis Advisors	:	Professor James O. Wilkes
		Dr. Kitipat Siemanond

Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Science.

K. Bunyakiat
..... College Director
(Assoc. Prof. Kunchana Bunyakiat)

Thesis Committee:

James O. Wilkes
.....
(Prof. James O. Wilkes)

Kitipat Siemanond
.....
(Dr. Kitipat Siemanond)

.....
(Dr. Pomthong Malakul)

ABSTRACT

4271007063: PETROCHEMICAL TECHNOLOGY PROGRAM
Kitti Booncharoen: Bubbles in A Two-Dimensional Fluidized Bed. Thesis Advisors: Prof. James O. Wilkes, Dr. Kitipat Siemanond, 59 pp ISBN 974-130-699-7
Keywords: rise velocity, bubble formation, detachment time, fluidized bed and fluidization

Bubbles in a two-dimensional fluidized bed was the study of the volume of bubbles formed on the distributor at the different air flow rates in the fluidized bed and the rise velocity of a single bubble detached from the distributor at the fluidized state. The single bubble generated in the bed was compressed from spherical shape to cylindrical shape by the parallel plates of the column. The rise velocity of a single generated in the incipient fluidization depended on the bubble diameter. The volume of single bubbles and the detachment time of single bubbles from an orifice were calculated from the mass and momentum balances of single bubble, and depended on the superficial air leakage velocity from the bubble surface. When the bed was expanded by feeding the air velocity above the incipient fluidized state, the rise velocity of continuously generated bubbles is augmented by an upward flow of the gas above that needed for incipient fluidization. The air streamlines occurred in the bed are calculated by the finite element method using FORTRAN programming language. The pattern of the air streamlines in the irrotational condition depended on the rise velocity or the size of the bubble in the fluidized bed.

บทคัดย่อ

กิตติ บุญเจริญ: การศึกษาฟองอากาศภายในหอทดลองฟลูอิดไดซ์แบบสองมิติ (Bubbles in A Two-Dimensional Fluidized Bed) อ. ที่ปรึกษา: ศ.ดร. เจมส์ โอ วีลค์ และ ดร. กิติพัฒน์ สีมานนท์ 59 หน้า ISBN 974-130-699-7

การศึกษาฟองอากาศภายในหอทดลองฟลูอิดไดซ์แบบสองมิติมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาตรของฟองอากาศที่เกิดขึ้นบนตัวกระจายอากาศภายในหอทดลองที่อัตราเร็วของอากาศค่าต่างๆและความเร็วของฟองอากาศที่หลุดออกจากตัวกระจายอากาศที่สภาวะของแข็งเปลี่ยนสถานะเป็นของไหล ฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในหอทดลองจะถูกเปลี่ยนสภาพจากทรงกลมเป็นแผ่นวงกลมเนื่องจากผนังของหอทดลอง ความเร็วของฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในสภาวะเริ่มต้นของปรากฏการณ์เปลี่ยนสภาวะของของแข็งเป็นของไหลจะขึ้นอยู่กับขนาดของฟองอากาศ ปริมาตรของฟองอากาศและเวลาที่ฟองอากาศใช้ในการหลุดออกจากตัวกระจายอากาศสามารถที่จะคำนวณได้จากสมดุลมวลและโมเมนตัมโดยที่ขนาดของฟองอากาศและเวลาจะขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศที่ออกจากผนังของฟองอากาศ ในสภาวะที่ของแข็งภายในหอทดลองขยายตัวเนื่องจากการป้อนอากาศเข้าสู่หอทดลองที่ความเร็วมากกว่าความเร็วเริ่มต้นของสภาวะที่ของแข็งเป็นของไหล ฟองอากาศจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นเนื่องจากได้รับความเร็วของอากาศที่ป้อนเข้ามาในหอทดลอง กระแสอากาศที่เกิดขึ้นภายในหอทดลองสามารถพิจารณาจากโปรแกรมฟอร์แทนโดยใช้กระบวนการไฟไนต์เอ-ลิเมนต์ในการคำนวณ รูปแบบของการไหลของกระแสอากาศที่คำนวณได้จากโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับความเร็วของฟองอากาศหรือขนาดของฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในหอทดลองฟลูอิดไดซ์

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my sincere thanks to Dr. Kitipat Siemanond, my Thai advisor. He entrusts me with this challenging topic, and gives guiding support throughout my work over one year. To my US advisor, Prof. James O. Wilkes, I extend thanks for providing this invaluable advice. I would like to thank Dr. Pomthong Malakul for being my thesis committee.

I would like to thank the Petroleum and Petrochemical College for providing me with a scholarship for my study and the staff of PPC for all the invaluable assistance. I am deeply indebted to my family, my friends, and all Ph.D. students for their help and encouragement.

TABLE OF CONTENTS

		PAGE
	Title Page	i
	Abstract (in English)	iii
	Abstract (in Thai)	iv
	Acknowledgements	v
	Table of Contents	vi
	List of Table	ix
	List of Figures	x
	List of Symbols	xii
CHAPTER		
I	**INTRODUCTION**	1
II	**BACKGROUND AND LITERATURE SURVEY**	3
	2.1 Background	3
	2.1.1 The Two-Phase Theory of Fluidization	3
	2.1.2 The Rise Velocity of a Single Bubble	4
	2.1.3 The Volume of the Bubble Formed at an Orifice	5
	2.1.4 The Rise Velocity of a Continuous Swarm of Small Bubbles	7
	2.2 Literature Survey	8
III	**EXPERIMENTAL**	12
	3.1 Material	12

CHAPTER **PAGE**

	3.2 Equipment	12
	3.3 Methodology	17
	3.3.1 The Rise Velocity of a Single Bubble	17
	3.3.2 The Volume of the Bubble Formed at an Orifice	18
	3.3.3 The Rise Velocity of a Continuous Swarm of Small Bubbles	19
	3.4 Finite Element Program	20
IV	**RESULTS AND DISCUSSION**	23
	4.1 The Rise Velocity of a Single Bubble	23
	4.2 The Volume of the Bubble Formed at an Orifice	25
	4.3 The Rise Velocity of a Continuous Swarm of Small Bubbles	31
	4.4 Movement of Air in the Fluidized Bed	34
	4.4.1 $U_b < u_i$ for the Case in Which the Bubble Diameter < 0.6 cm	35
	4.4.2 $U_b > u_i$ for the Case in Which the Bubble Diameter > 0.6 cm	36
V	**CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**	38
	REFERENCES	40
	APPENDICES	41

CHAPTER **PAGE**

Appendix A Finite element method 41

Appendix B Gauss elimination method 46

Appendix C Finite element code 48

CURRICULUM VITAE 59

LIST OF TABLE

TABLE		PAGE
3.1	Physical properties of particles	12

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
3.1	Schematic diagram of the two-dimensional fluidized bed	14
3.2	Scale of the two-dimensional fluidized bed	15
3.3	Schematic diagram of the perforated plate distributor	16
3.4	Mechanism of a single bubble in the fluidized bed	18
3.5	Mechanism of the bubble formation in the fluidized bed	19
3.6	Mechanism of a continuous swarm of the bubbles in the fluidized bed	20
3.7	A general flow diagram for finite element program	22
4.1	Rise velocity of single bubbles in two-dimensional fluidized bed containing stone particles 0.212-0.250 mm in diameter	24
4.2	Comparison of experimental rise velocity of single bubbles with those predicted for an infinite fluid by Equation 2.8	25
4.3	Volume of bubbles detached from the orifice in the fluidized bed containing stone particles 0.212-0.250 mm in diameter	26
4.4	Variation of the bubble diameters detached from the orifice with the air flow rates at the different gas leakage velocities	27
4.5	Comparison of the detachment times with the air flow rates at different gas leakage velocities	29
4.6	Relation of bubble volumes with volumetric air flow rates through orifice and frequencies of the bubble formation	30

FIGURE **PAGE**

4.7 Percentage of air leakage from the bubble detaching from the orifice at different bubble diameters 31

4.8 Height of the fluidized bed above minimum fluidization at the different air flow rates 32

4.9 Variation of the rise velocities and the bubble diameters with the air flow rates 33

4.10 The streamlines of air in the single bubble when the rise velocity U_b was less than the incipient interstitial air velocity u_i 36

4.11 The stream lines of air in the single bubble when the rise velocity U_b was greater than the incipient interstitial air velocity u_i 37

LIST OF SYMBOLS

a	Frontal radius of curvature of bubble, cm
A	Cross-sectional area of the fluidized bed, cm^3
D_e	Diameter of the sphere that the same volume as the bubble, cm
g	Acceleration of gravity, 980.66 cm/s^2
G	Gas flow rate, cm^3/s
h	Bed height, cm
h_0	Bed height at incipient fluidization, cm
n_b	The frequency of the bubble formation, s^{-1}
Q_b	Volumetric bubble flow rate, cm^3/s
Q_{or}	Volumetric gas flow rate through orifice, cm^3/s
r_b	Bubble radius, cm
r_e	Radius of the sphere that the same volume as the bubble, cm
s	Bubble center, cm
t	Time, s
t_b	Bubble detachment time, s
T	Bubble thickness or bed thickness of two-dimensional bed, cm
U	Superficial velocity of gas, cm/s
U_b	Rise velocity of bubble in bounded fluid, cm/s
$U_{b,\infty}$	Rise velocity of bubble in infinite fluid, cm/s
U_c	Rise velocity of continuously generated bubbles, cm/s
U_{mb}	Minimum bubbling velocity, cm/s
U_{mf}	Minimum fluidizing velocity, cm/s
V_b	Bubble volume, cm^3
ε	Void fraction
Ω	Overall gas leakage from the bubble, cm^3
ρ	Emulsion phase density, g/cm^3
σ	Surface tension, dynes/cm