การศึกษาคุณลักษณะและพลศาสตร์ของหยดในสเปรย์คอลัมน์

นายสุวัฒน์ แซ่เล่า

004096

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2524

i 1809904X

A STUDY OF DROP CHARACTERISTICS AND DROP DYNAMICS IN SPRAY COLUMNS

Mr. Suwat Saelao

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1981

Thesis title	A Study of Drop Characteristics and Drop Dynamics in Spray Columns.
By	Mr. Suwat Saelao
Department	Chemical Engineering
Thesis Advisor	Assist. Prof. Woraphat Arthayukti, D. Ing.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in partial fulfillment of the requirements for the Master's degree.

.....S. Bunnag.....Dean of Graduate School

(Assoc. Prof. Supardit Bunnag, Ph. D.)

Thesis Committee

.....Chairman

(Assoc. Prof. Kroekchai Sukarnjanajtee, Ph.D.)

.....Member

(Assist. Prof. Woraphat Arthayukti, D. Ing.)

.....Member

(Assist. Prof. Lursaung Mekasut, D. Ing.)

.....Member

(Assist. Prof. Sasithorn Boon-Long Dr. 3ème Cycle)

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณลักษณะ และพลศาสตร์ของหยดในสเปรย์คอลัมน์
ชื่อนิสิต นายสุวัฒน์ แซ่เล่า
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพัฒน์ อรรถยุกติ
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2524

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาขนาดของหยด การกระจายของหยด ความเร็วของหยด คุณลักษณะ และพลศาสตร์โดยทั่ว ๆ ไปของหยดในสเปรย์คอลัมน์ คอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองมีความยาว 133 เซ็นติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของคอลัมน์กว้าง 11.2 เซ็นติเมตร ระบบที่ใช้ในการศึกษาคือ น้ำ-คาร์บอนเตตราคลอไรด์ น้ำจะเป็นเฟสต่อเนื่องซึ่งอยู่นิ่ง (stationary continuous phase) คาร์บอนเตตราคลอไรด์เป็นเฟสกระจาย (disperse phase) ตัวกระจาย (distributor) ทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมเจาะรู ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของหัวฉีด (nozzle) ขนาด 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความเร็วของเฟสกระจายผ่านหัวฉีดที่ใช้แปรผันจาก 11 ถึง 30 เซ็นติเมตรต่อวินาที ขนาดของหยด และความเร็วของหยดวัดได้โดยการถ่ายรูป เป้าหมายของการทดลองนี้จะเป็นการศึกษาให้เข้าใจเกี่ยวกับคุณลักษณะในการไหลผ่าน (hydrodynamic) ของหยดในสเปรย์คอลัมน์ได้ดียิ่งขึ้น และการคาดคะเนคุณลักษณะ และพลศาสตร์ของหยดในสเปรย์คอลัมน์อันอื่น ๆ

ผลการทดลองได้เปรียบเทียบกับสมการของผู้ทำการทดลองคนอื่น สมการการคาดคะเนขนาดของหยดของ Skelland กับ Johnson สอดคล้องกับผลการทดลองนี้ และรูปร่างของกราฟการกระจายของหยดจะเปลี่ยนจากกราฟแบบยอดเดียว (monomodal) ไปเป็นกราฟแบบสองยอด (bimodal) เมื่ออัตราการไหลผ่านหัวฉีดเพิ่มขึ้น การศึกษาความเร็วของหยดเป็นเบื้องต้นของการศึกษาพฤติกรรมการไหลของเฟสกระจาย ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ในสเปรย์คอลัมน์เกิดการไหลย้อนขึ้น (entrainment) ของเฟสต่อเนื่อง และการศึกษารูปวาดของความเร็ว (velocity profile) ของหยด พบว่า รูปวาดของความเร็วของหยดมีรูปร่างแบบเส้นโค้งพารา-

บอลา (parabola) ผลการทดลองนี้สามารถที่จะเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับคุณลักษณะในการไหลผ่านของหยด และอาจจะนำไปสู่การสร้างตัวอย่าง (modelization) ของการถ่ายเทมวลสารในสเปรย์คอลัมน์ได้ดียิ่งขึ้น

Thesis Title	A Study of Drop Characteristics and Drop Dynamics in Spray Columns.
Name	Mr. Suwat Saelao
Thesis Advisor	Assistant Professor Woraphat Arthayukti, D. Ing.
Department	Chemical Engineering
Academic Year	1981

ABSTRACT

An investigation was conducted to study drop sizes, drop size distributions, velocities of drops, and general drop characteristics and drop dynamics in liquid-liquid spray columns. The column used in this experiment was 133 centimeters long with an inside diameter of 11.2 centimeters. The water-carbon tetrachloride system was used in this study with water as a stationary continuous phase and carbon tetrachloride as dispersed phase. The organic phase distributors used were made of four set of aluminium perforated plates with inside nozzle diameters of 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 millimeters. The dispersed phase nozzle velocity was varied from 11 to 30 cm./s. Drop sizes and velocities of drop were measured photographically. The purpose of this investigation aimed at understanding the hydrodynamics of drops in spray columns and attempt at increasing understanding or even predicting drop characteristics and drop dynamics in other spray columns.

Relevant experimental results were compared with other investigator's equations. Skelland and Johnson's equation for predicting drop sizes agreed well with experimental drop sizes obtained. Drop size distribution measurements showed a distribution curve changing from near

normal monomodal to bimodal with increase in flow rate through the distributors. The study of drop velocities was basically a study of flow behavior of the dispersed phase, with the results being an indirect indication that in spray columns there occurs a continuous phase entrainment phenomena. And the data obtained on velocity profiles of drops indicate that velocity profiles are parabolic in shape. The Results obtained may be used to increase the understanding of hydrodynamics and lead to better modelizations of mass transfer in spray columns.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to sincerely thank and to express his deepest gratitude to his advisor, Assistant Professor Dr. Woraphat Arthayukti, for his most helpful, guidance and encouragement, throughout the course of this project. Thanks are also extended to Dr. Somchuer Pakdeepatrakorn for her advices. The author is also appreciate to his parent and his friends for their assistance, and also wished to express his most sincere gratitude to Assist. Prof. Dr. Woraphat Arthayukti for providing funds for this research.

CONTENTS

Page

Abstract in Thai..... iv

Abstract in English..... vi

Acknowledgement..... viii

List of Tables..... xi

List of Figures..... xii

Chapters

1 Introduction..... 1

2 Literature review..... 4

2.1 Drop sizes in spray columns..... 4

2.2 Drop size distribution..... 10

2.3 Velocities of drops..... 11

2.4 Hold-up of dispersed phase..... 12

3 Experimental investigation and results..... 13

3.1 Experimental Investigation..... 13

3.1.1 Apparatus..... 13

3.1.2 Procedure..... 16

3.2 Results..... 28

3.2.1 Drop size..... 29

3.2.2 Drop size distribution..... 29

3.2.3 Velocities of drops..... 54

4 Discussion of results..... 68

4.1 Drop size..... 68

Page

4.2 Drop size distribution..... 71

4.3 Velocities of drops..... 76

5 Conclusions..... 82

5.1 Drop size..... 82

5.2 Drop size distribution..... 82

5.3 Velocities of drops..... 83

5.4 Schematic flow models..... 84

References..... 86

Nomenclature..... 88

Autobiography..... 91

LIST OF TABLES

Table		Page
1	Literature review of important systems studied in spray columns	5
2	Nozzle characteristic	15
3	Comparison of predicted drop size equation with experimental data for distributor A	30
4	Comparison of predicted drop size equation with experimental data for distributor B	31
5	Comparison of predicted drop size equation with experimental data for distributor C	32
6	Comparison of predicted drop size equation with experimental data for distributor D	33
7	Equation representing velocity profiles of drop	55
8	Comparison of proposed equation for predicted drop size with experimental data	72
9	Comparison of proposed equation for predicted maximum velocity of drop with experimental data	80

LIST OF FIGURES

Figure		Page
1	Schematic representation of the spray column.....	14
2	Experimental photographic set up to measure drop sizes..	17
3	Experimental photographic set up to measure velocities of drops.....	18
4	Photographs of drops sizes with varying flow rates of dispersed phase (distributor A).....	20
5	Photographs of drops sizes with varying flow rates of dispersed phase (distributor B).....	21
6	Photographs of drops sizes with varying flow rates of dispersed phase (distributor C).....	22
7	Photographs of drops sizes with varying flow rates of dispersed phase (distributor D).....	23
8	Long time exposure of drops (to calculate local velocities) - distributor A.....	24
9	Long time exposure of drops (to calculate local velocities) - distributor B.....	25
10	Long time exposure of drops (to calculate local velocities) - distributor C.....	26
11	Long time exposure of drops (to calculate local velocities) - distributor D.....	27
12	Drop sizes as a function of nozzle velocity (distributor A).....	34

Figure | Page

13 Drop sizes as a function of nozzle velocity (distributor B)..... 35
14 Drop sizes as a function of nozzle velocity (distributor C)..... 36
15 Drop sizes as a function of nozzle velocity (distributor D)..... 37
16 Drop size distribution (distributor A flow rate 3.37 cc./s.)..... 38
17 Drop size distribution (distributor B flow rate 3.37 cc./s.)..... 39
18 Drop size distribution (distributor C flow rate 3.37 cc./s.)..... 40
19 Drop size distribution (distributor D flow rate 3.37 cc./s.)..... 41
20 Drop size distribution (distributor A flow rate 5.03 cc./s.)..... 42
21 Drop size distribution (distributor B flow rate 5.03 cc./s.)..... 43
22 Drop size distribution (distributor C flow rate 5.03 cc./s.)..... 44
23 Drop size distribution (distributor D flow rate 5.03 cc./s.)..... 45
24 Drop size distribution (distributor A flow rate 6.67 cc./s.)..... 46

Figure | Page

25 Drop size distribution (distributor B flow rate 6.67 cc./s.)..... 47

26 Drop size distribution (distributor C flow rate 6.67 cc./s.)..... 48

27 Drop size distribution (distributor D flow rate 6.67 cc./s.)..... 49

28 Drop size distribution (distributor A flow rate 8.68 cc./s.)..... 50

29 Drop size distribution (distributor B flow rate 8.68 cc./s.)..... 51

30 Drop size distribution (distributor C flow rate 8.68 cc./s.)..... 52

31 Drop size distribution (distributor D flow rate 8.68 cc./s.)..... 53

32 Velocity profile and terminal velocity of drops (distributor A flow rate 8.68 cc./s.)..... 56

33 Velocity profile and terminal velocity of drops (distributor A flow rate 6.67 cc./s.)..... 57

34 Velocity profile and terminal velocity of drops (distributor A flow rate 5.03 cc./s.)..... 58

35 Velocity profile and terminal velocity of drops (distributor B flow rate 8.68 cc./s.)..... 59

36 Velocity profile and terminal velocity of drops (distributor B flow rate 6.67 cc./s.)..... 60

37 Velocity profile and terminal velocity of drops (distributor B flow rate 5.03 cc./s.)..... 61

Figure Page

38 Velocity profile and terminal velocity of drops (distributor C flow rate 8.68 cc./s.)..... 62

39 Velocity profile and terminal velocity of drops (distributor C flor wate 6.67 cc./s.)..... 63

40 Velocity profile and terminal velocity of drops (distributor C flow rate 5.03 cc./s.)..... 64

41 Velocity profile and terminal velocity of drops (distributor D flow rate 8.68 cc./s.)..... 65

42 Velocity profile and terminal velocity of drops (distributor D flow rate 6.67 cc./s.)..... 66

43 Velocity profile and terminal velocity of drops (distributor D flow rate 5.03 cc./s.) 67

44 Generalized correlation for Sauter mean diameter..... 73

45 Computed hold-up as a function of d_{32}..... 74

46 Continuous phase entrainment phenomena..... 78

47 Generalized correlation for velocities of drops..... 81

48 Schematic flow modeles of spray columns..... 85