การศึกษาทฤษฎีของ ฟอเวิด มิคซิ่ง ในเครื่องสกัดของเหลว

นาย นิพิทธ์ ชินชูศักดิ์

001264

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๓

I 15977109

THEORETICAL STUDY OF THE PHENOMENA OF FORWARD MIXING IN LIQUID-LIQUID EXTRACTION COLUMNS

MR. NIPHAT CHINCHUSAKDI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING

GRADUATE SCHOOL

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1980

Thesis title Theoretical Study of the Phenomena of Forward Mixing in Liquid-Liquid Extraction Columns.

By Mr. Niphat Chinchusakdi

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. Supadit Bunnak, Ph.D.)

Thesis Committer

.....Chairman

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

.....Member

(Assist.Prof. Lursuang Meksut, D.Ing)

.....Member

(Pienpak Tasakorn, Ph.D)

.....Member

(Piyasarn Praserthdam , D.Ing)

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University.

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาทฤษฎีของ ฟอเวิด มิคซิง ในเครื่องล้างของเหลว

ชื่อ นาย นิพัทธ์ ยืนยู่คักดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. วรพัฒน์ อรรถยุกติ

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2522

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ในเครื่องล้างของเหลวด้วยของเหลว หยดของสารอินทรีย์จะไหลสวนทางกับการไหลอย่างสม่ำเสมอของสารที่ผสมน้ำ ขบวนการล้างของเหลวสามารถอธิบายด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าดิฟิวชั่นโมเดล ดิฟิวชั่นโมเดลนี้ทันสมัยและให้ความถูกต้องต่อการออกแบบเครื่องล้างของเหลวด้วยของเหลวโดยอาศัยข้อมูลที่ได้พิมพ์เผยแพร่แล้ว หรือใช้ในการขยายเครื่องล้างจากข้อมูลของโรงงานต้นแบบ นักวิจัยหลายท่านมีความเชื่อว่าปรากฏการณ์ของ ฟอเวิด มิคซิง มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเครื่องล้างของเหลว ฟอเวิด มิคซิง เป็นปรากฏการณ์ของการไหลในรูปหยดด้วยเหตุที่ขนาดต่าง ๆ ของหยดจะไหลด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน ทั้งนี้เป็นไปตามธรรมชาติในการเกิดหยดที่ไม่สม่ำเสมอ แต่ก็ไม่มีผลต่อการสมมุติของ ดิฟิวชั่นโมเดล ปัญหาของวิศวกรในขณะนี้ก็คือการคำนวณเพื่อการออกแบบและการทำงานว่าจะใช้ดิฟิวชั่นโมเดลด้วยตัวแปร 3 ตัว หรือจะสร้างโมเดลใหม่โดยการพิจารณาปรากฏการณ์ของ ฟอเวิด มิคซิง โดยเพิ่มตัวแปรเป็น 4 หรือมากกว่านี้เข้าไปในโมเดล ถ้าหากสามารถแสดงให้เห็นว่า ฟอเวิด มิคซิง ไม่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเครื่องล้างของเหลว จะอนุมานว่าดิฟิวชั่น โมเดลนี้ถูกต้องเพียงพอสำหรับวิศวกรหรือไม่ สมการของดิฟิวชั่นโมเดล (ที่รู้จักก็มี มิยอชี่โมเดล) ซึ่งถูกใช้ในการศึกษาอิทธิพลของ ฟอเวิด มิคซิง ด้วยวิธีทางพีชคณิตและคอมพิวเตอร์ ผลของการทดลองที่ผ่านมาพบว่าปรากฏการณ์ของฟอเวิด มิคซิง โดยเฉพาะความเร็วของหยดจะเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของท่อ จากข้อมูลที่ได้นี้ถูกผ่านเข้าไปในดิฟิวชั่นโมเดล ซึ่งแปลงออกมาในรูปของคอมพิวเตอร์โปรแกรม เพื่อที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างดิฟิวชั่น โมเดลที่ใช้อยู่ทั่วไปกับโมเดลที่พิจารณาฟอเวิด มิคซิง เข้าไปเกี่ยว

ข้องจากข้อมูลที่ศึกษาจากไอโอดีน - น้ำ - คาร์บอนเตตาคลอไรด์ ชี้ให้เห็นว่า ฟอเวิด มิคชิง ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของท่อในทางทฤษฎีและจากการทดลองนี้เป็นการย้ำข้อมูลนั้น จึงไม่ต้องสร้างโมเดลใหม่สำหรับนักวิค่วกร

จากดิฟิวชั่นโมเดล ยังได้นำไปใช้ตรวจแนวความคิดอีก 2 ประการคือ

1. ศึกษาเกี่ยวกับ เอช. อี. ที. พี. ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า เอช. อี. ที. พี. ไม่สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณหาความสูงของท่อได้

2. ศึกษาหาสมการที่จะใช้ในการคำนวณค่าหน่วยของการถ่ายเทมวลสารที่แท้จริง โดยอาศัยความเข้มข้นของหยดที่ทางเข้าเครื่องสกัดของเหลวด้วยของเหลวนี้ได้พยายามสร้างความสัมพันธ์ในหลาย ๆ กรณีแต่ประสบความสำเร็จเพียงเล็กน้อย

Thesis Tittle THEORETICAL STUDY OF THE PHENOMENA OF FORWARD MIXING IN LIQUID-LIQUID EXTRACTION COLUMNS.

Name Mr. Niphat Chinchusakdi

Thesis Advisor Assist. Prof. Woraphat Arthayukti, D.Ing.

Department Chemical Engineering

Academic year 1979

ABSTRACT

In a liquid - liquid extraction column the organic drop phase flows countercurrently with the aqueous continuous phase. The extraction process can be described with a Mathematical Model called the Diffusion Model. The Diffusion Model is a modern and fairly accurate approach aimed at designing liquid - liquid extraction columns from published data or used to scale-up extraction columns from pilot plant data. It is believed that the Forward Mixing phenomena influences efficiency of the liquid - liquid extraction column. Forward mixing is a drop flow phenomena whereby drops of various sizes move at various velocities according to size making the dispersed phase non-homogeneous in nature and thereby invalidating one assumption of the Diffusion model. The problem of the engineer is now to determine whether for design and practical purposes it is better to use the Diffusion model with its three parameters or to create a new model taking into consideration the forward mixing phenomena which would entail a model with four or more parameters. If it can be shown that forward mixing plays a negligeable influence on the efficiency of the column then it could be deduced that

the Diffusion model is accurate enough for engineering purposes. The equations of the Diffusion model (also known as the Miyauchi model) were integrated both analytically and numerically to study the influence of forward mixing. The phenomena of forward mixing was discovered experimentally in a previous work as a series of experiments indicating a velocity of drop passage varying with distance along the columns. This experimental data was fed into the Diffusion model integration program in order to compare columns efficiencies between an ordinary Diffusion model and a model taking into consideration forward mixing. The simulation based on data for the system iodine-water-carbon tetra-chloride indicated that forward mixing did not affect theoretical column efficiencies and that for the restrictions of this example, the phenomena of forward mixing did not seem to warrant a new Engineering model.

In a separate study concerning the diffusion model two ideas were investigated separately. The first idea was the study of the HETP (height equivalent to a theoretical plate) concept on the diffusion model. The results obtained indicate that the HETP concept cannot be used as an engineering tool as it is a function of column height. The second idea was the study of determination of true number of transfer units based on the drop of concentration at the inlets of the liquid-liquid extraction columns. Several correlations of concentration drops were attempted with little success.

ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to sincerely thank and to express his gratitude to his advisor, Assistant Professor Dr. Woraphat Arthayukti, for his supervision, guidance and encouragement during his project. He also wishes to express his appreciation to the Computer Center of Chulalongkorn University for the use of Computer Machine.

Furthermore, he wishes to convey his most sincere gratitude to his parents and his sister for their moral support.

Finally, he wishes to thank to his friends, for their spiritual support.

CONTENTS

Page

Abstract in Thai.....IV

Abstract.....VI

Acknowledgement VIII

List of Tables.....XI

List of Figures.....XIV

Nomenclature.....XVIII

Chapters

1. Introduction.....1

1.1 The objectives of this work.....3

1.2 The scope of this work.....4

2. The diffusion model.....5

2.1 Description of the diffusion model.....5

2.2 Derivation of the Miyauchi model differential equations and boundary conditions....8

3, Simulation studies of the diffusion model for the linear case.....11

3.1 Study of the interrelationship between R_x and P_x, P_y, r_x, r_y.....11

3.2 Study of HETP extraction column of different height.....72

3.3 Concentration profiles solutions.....88

4. Study of forward mixing using the numerical solution of the diffusion model.....96

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 Indroduction.....96

4.2 Explaination of the experiments on variable Peclets and R_x.....97

4,3 Study of the variable velocity as a function of column height.....98

4.4 Discussion and conclusion.....99

5. Results and discussion.....109

References.....114

Appendix

A. Analytical solution of the diffusion model for linear case.....116

B. Numerical example.....122

C. Flow diagram of the analytical solution.....127

D. Computer program and description of the analytical solution.....131

E. All data output from computer.....142

F. Numerical solution of the diffusion model for linear case.....191

G. Flow diagram of the numerical solution.....198

H. Computer program and description of the numerical solution.....207

I. All data output from computer by numerical solution.....222

Autobiography.....341

LIST OF TABLES

Table Page

3-1. Determination of log r_x at $P_x=P_y=5$.....14

3-2. Determination of log r_y at $P_x=P_y=5$.....15

3-3. Determination of log $(r_x r_y)$ at $P_x=P_y=5$.....16

3-4. Determination of log (r_y/r_x) at $P_x=P_y=5$.....17

3-5. Determination of log (r_y+r_x) at $P_x=P_y=5$.....18

3-6. Determination of log (r_y-r_x) at $P_x=P_y=5$.....19

3-7. Determination of log $(r_y^2-r_x^2)$ at $P_x=P_y=5$.....20

3-8. Determination of log (r_y+r_x) / (r_y-r_x) at $P_x=P_y=5$.....21

3-9. Determination of log r_x, log r_y, log$(r_x r_y)$
log(r_y/r_x), log(r_y+r_x), log(r_y-r_x), log$(r_y^2-r_x^2)$
and log $(r_y+r_x)/(r_y-r_x)$ at $P_x=P_y=10$.....31

3-10. Determination of log r_x, log r_y, log$(r_x r_y)$
log(r_y/r_x), log(r_y+r_x), log(r_y-r_x), log$(r_y^2-r_x^2)$
and log $(r_y+r_x)/(r_y-r_x)$ at $P_x=P_y=1$.....34

3-11. Determination of log r_x, logr_y, log$(r_x r_y)$
log(r_y/r_x), log(r_y+r_x), log(r_y-r_x), log $(r_y^2-r_x^2)$
and log $(r_y+r_x)/(r_y-r_x)$ at $P_x=2, P_y=1$.....37

3-12. Determination of log r_x, logr_y, log$(r_x r_y)$
log(r_y/r_x), log(r_y+r_x), log(r_y-r_x), log$(r_y^2-r_x^2)$
and log $(r_y+r_x)/(r_y-r_x)$ at $P_x=4, P_y=1$.....40

3-13. Determination of log r_x, log r_y, log$(r_x r_y)$
log (r_y/r_x), log(r_y+r_x), log (r_y-r_x), log$(r_y^2-r_x^2)$
and log $(r_y+r_x)/(r_y-r_x)$ at $P_x=4, P_y=2$.....43

Table Page

3-14. Determination of log r_x, logr_y, log($r_x r_y$), log(r_y/r_x), log (r_y+r_x), log (r_y-r_x), log($r_y^2-r_x^2$) and log (r_y+r_x)/(r_y-r_x) at $P_x=2P_y=4$.....46

3-15. Determination of log r_x, logr_y, log($r_x r_y$) log (r_y/r_x), log (r_y+r_x), log (r_y-r_x), log($r_y^2-r_x^2$) and log (r_y+r_x)/(r_y-r_x) at $P_x=3, P_y=5$.....49

3-16. Determination of index a,b,c of equation at $P_x=5$.....63

3-17. Determination of index a,b,c of equation at $P_x=10$.....64

3-18. Determiantion of R_x at $P_x=P_y=5$, a=-1 $A=r_y-r_x$.....65

3-19. Determination of R_x at $P_x=P_y=5$, a=1 $A=(r_y^2-r_x^2)$.....66

3-20. Determination of R_x at $P_x=P_y=5$, a=1 $A=(r_y+r_x)/(r_y-r_x)$.....67

3-21. Determination of R_x at $P_x=P_y=10$, a=-1 $A=(r_y-r_x)$.....68

3-22. Determination of R_x at $P_x=P_y=10$, a=-1 $A=(r_y^2-r_x^2)$.....69

3-23. Determination of R_x at $P_x=P_y=10$, a=1 $A=(r_y+r_x)/(r_y-r_x)$.....70

3-24. Finding HETP at different height when $P_x=P_y=R_x$.....78

3-25. Finding HETP at different height when P_y less than P_x.....79

Table Page

3-26. Finding HETP at different height when P_y more than P_x 80

3-27. Column Efficiency (E_c) for P_y=2, R_y=2 92

3-28. Column Efficiency (E_x) for P_y=2, R_y=5 93

B-1. The values of X and Y at different Z when P_x = 1.0, P_y = 1.0, R_x = 40.0 125

LIST OF FIGURES

Figure		Page
2-1.	Schematic representation of piston diffusion flow in both phases.....	6
2-2.	A description of back mixing in a Countercurrent extraction column.....	7
2-3.	Schematic diagram of column and equilibrium diaqram.....	9
3-1.	Concentration profiles for jump ratio	12
3-2.	The relation of log R_x with log r_x when $P_x = P_y = 5$.....	22
3-3.	The relation of log R_x with log r_y when $P_x = P_y = 5$.....	23
3-4.	The relation of log R_x with log $(r_x r_y)$ when $P_x = P_y = 5$.....	24
3-5.	The relation of log R_x with log (r_y/r_x) when $P_x = P_y = 5$.....	25
3-6.	The relation of log R_x with log (r_y+r_x) when $P_x = P_y = 5$.....	26
3-7.	The relation of log R_x with log (r_y-r_x) when $P_x = P_y = 5$.....	27
3-8.	The relation of log R_x with log $(r_y^2-r_x^2)$ when $P_x = P_y = 5$.....	28
3-9.	The relation of log R_x with log $(r_y+r_x)/(r_y-r_x)$ when $P_x = P_y = 5$.....	29

Figure Page

3-10. The relation of log R_x with log A when A = $r_x, r_y, r_x r_y, r_y/r_x, (r_y+r_x)$ at $P_x = P_y = 10$ 52

3-11. The relation of log R_x with log (r_y-r_x) at $P_x = P_y = 10$ 53

3-12. The relation of log R_x with log $(r_y^2-r_x^2)$ at $P_x = P_y = 10$ 54

3-13. The relation of log R_x with log $(r_y+r_x)/(r_y-r_x)$ at $P_x = P_y = 10$ 55

3-14. The relation of log R_x with log A at $P_x = P_y = 1$ 56

3-15. The relation of log R_x with log A at $P_x = 2$, $P_y = 1$ 57

3-16. The relation of log R_x with log A at $P_x = 4$, $P_y = 1$ 58

3-17. The relation of log R_x with log A at $P_x = 4$, $P_y = 2$ 59

3-18. The relation of log R_x with log A at $P_x = 2$, $P_y = 4$ 60

3-19. The relation of log R_x with log A at $P_x = 3$, $P_y = 5$ 61

3-20. Theoretical plates Evaluation 74

Figure Page

3-21. The finding of Theoretical plates from relation of C_x and C_y from table 3-24..... 81

3-22. Concentration profiles of column at different height..... 82

3-23. To find Theoretical plates from table 3-25..... 83

3-24. Concentration profiles of column at different height..... 84

3-25. To find Theoretical plates from table 3-26..... 85

3-26. Concentration profiles of column at different height..... 86

3-27. The relation of HETP with column height..... 87

3-28. Column efficiency with Peclet number in drop phase for $P_y = 2$, $P_x = 2$..... 94

3-29. Column efficiency with Peclet number in drop phase for $P_y = 2$, $R_x = 5$..... 95

4-1. Input velocity at different height, $\bar{u}_x = 0.474$ cm/s.... 101

4-2. Input velocity at different height, $\bar{u}_x = 1.528$ cm/s..... 102

4-3. Input velocity at different height, $\bar{u}_x = 2.615$ cm/s..... 103

4-4. Input velocity at different height, $\bar{u}_x = 0.958$ cm/s..... 104

4-5. Concentration profiles for iodine-water/ carbon tetrachloride from figure 4-1..... 105

4-6. Concentration profiles for iodine-water/ carbon tetrachloride from figure 4-2..... 106

Figure Page

4-7. Concentration profiles for iodine-water/ carbon tetrachloride from figure 4-3..... 107

4-8. Concentration profile for iodine-water/ carbon tetrachtoride from figure 4-4...../..... 108

B-1. Concentration profile along an arbitrary contactor .. 126

F-1. Slope of each interval in concentration profiles 196

NOMENCLATURE

a	arbitrary constant of jump ratio
a'	interfacial area per unit column volume, sq. cm/cc
A	relation of jump ratio
A_T	total cross section area of column.
b	arbitrary constant of p_x
c	arbitrary constant of p_y
C	factor defined by equation (3-3)
D_i	axial dispersion coefficient in phase i, sq. cm/s
E_c	column efficiency ($=R_{xp}/R_x$)
F_x	superficial velocity of phase X($=\phi u_x$)
F_y	superficial velocity of phase Y($=(1-\phi)u_y$)
G_i	volumetric flow rate of i ($=A_T F_i$)
J_i	$= - D_i dc_i/dz$ if u_i same direction as Z
	$= + D_i dc_i/dz$ if u_i opposite direction as Z
K_i	overall mass transfer coefficience in i phase (cm/s)
L	contactor length
M	equilibrium constant
P_i	Peclet number in phase i ($=u_i L/D_i$)
r_i	jump ratio in phase i ($=\frac{\text{feed-interior end inlet}}{\text{feed-outlet}}$)
R_i	Number of true overall transfer units in phase i
u_i	true velocity in phase i, cm/s
X,Y	concentration in phase X and Y respectively, mg solute/l
z	length unit

Z dimentionless length unit (z/L)

ϕ hold up of dispersed phase (X phase)

Λ extraction factor (=M F_x/F_y)

Subscripts

i refer to X or Y phase.

in refer to inlet conditions.

out refer to outlet conditions.

p plug flow or piston flow

x,y refer to X and Y phase

Superscripts

* at equilibrium