การศึกษาเพื่อหาสหสัมพันธ์ทั่วไปของการถ่ายเทมวล ระหว่างของเหลวกับของแข็งในถังกวนมาตรฐาน

นางสาวอัญชลีพร วาริทสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2530

ISBN 974-567-997-6

A STUDY OF GENERAL SOLID - LIQUID MASS TRANSFER CORRELATION IN STANDARD AGITATED VESSEL

Miss Anchaleeporn Waritswat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Chemical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1987

ISBN 974-567-997-6

Thesis Title	A Study of General Solid - Liquid Mass Transfer Correlation in Standard Agitated Vessel
By	Miss Anchaleeporn Waritswat
Department	Chemical Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Sasithorn Boon-Long, Dr. 3ème cycle

---

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.

Thavorn Vajarabhaya Dean of Graduate School

(Professor Thavorn Vajarabhaya, Ph.D.)

Thesis Committee

C. Hirz ..... Chairman

(Assistant Professor Chairit Satayaprasert, Dr.Ing.)

K. Sukanjanajtee ..... Member

(Associate Professor Kroekchai Sukanjanajtee, Ph.D.)

Wiwut Tanthapanichakoon ..... Member

(Associate Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.)

Boon-Long ..... Member

(Assistant Professor Sasithorn Boon-Long, Dr. 3ème, cycle)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเพื่อหาสหสัมพันธ์ทั่วไปของการถ่ายเทมวลระหว่างของเหลวกับของแข็งในถังกวนมาตรฐาน
ชื่อนิสิต	นางสาวอัญชลินร วาริทสวัสดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศศิธร บุญ-หลง
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2529

บทคัดย่อ

การศึกษาเพื่อหาสหสัมพันธ์ทั่วไปของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลระหว่างของเหลวกับของแข็งในถังกวนมาตรฐาน โดยมีของแข็งที่มีความหนาแน่นค่าต่าง ๆ แขวนลอยอยู่ในของเหลวต่างชนิดกันคือน้ำ สารละลายน้ำตาลซูโครส 13, 20 และ 35.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า ความแตกต่างระหว่างค่าความหนาแน่นของของแข็งกับของเหลว ซึ่งมีค่าไม่เกิน 0.4 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จะไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 25 °C ถึง 45 °C และความเร็วรอบของการปั่นกวน มีค่าระหว่าง 250 ถึง 550 รอบต่อนาที

ผลที่ได้แสดงอยู่ในรูปของกลุ่มตัวเลขไร้มิติ คือ

$$Sh_p = rRe_p^{1.21} Sc^{0.50}$$

ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ สามารถใช้งานได้ในช่วงตัวเลขเรย์โนลส์ระหว่าง 1.04×10^{4} ถึง 7.7×10^{4} และตัวเลขชมิดท์ระหว่าง 411 ถึง 14,318 สำหรับค่าคงที่ r ขึ้นอยู่กับระบบที่ใช้ในการทดลอง พบว่า ในระบบที่มีกรดเบนโซอิกเคลือบบนวัสดุต่าง ๆ คือ บนเม็ดลูกแก้ว เม็ดกลมของโพลีสไตรีน เม็ดพลาสติกชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 กับน้ำ หรือกับสารละลายน้ำตาลซูโครส 13, 20 และ 35.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ค่าคงที่ r จะมีค่าเป็น 1.90×10^{-5}, 3.00×10^{-5}, 3.57×10^{-5} และ 6.48×10^{-5} ตามลำดับ ดังนั้นความสัมพันธ์ที่ได้สำหรับระบบต่าง ๆ คือ

ระบบที่มีกรดเบนโซอิกเคลือบบนวัสดุต่าง ๆ - น้ำ

$$Sh_P = 1.90\times10^{-5} Re_P^{1.21} Sc^{0.50}$$

$$4\times10^4 < Re_P < 7.7\times10^4$$
$$411 < Sc < 1,032$$

ระบบที่มีกรดเบนโซอิกเคลือบบนวัสดุต่าง ๆ - สารละลายน้ำตาล 13 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

$$Sh_P = 3.00\times10^{-5} Re_P^{1.21} Sc^{0.50}$$

$$3\times10^4 < Re_P < 5\times10^4$$
$$1,210 < Sc < 1,516$$

ระบบที่มีกรดเบนโซอิกเคลือบบนวัสดุต่าง ๆ - สารละลายน้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

$$Sh_P = 3.57\times10^{-5} Re_P^{1.21} Sc^{0.50}$$

$$2.2\times10^4 < Re_P < 4.5\times10^4$$
$$1,539 < Sc < 3,043$$

ระบบที่มีกรดเบนโซอิกเคลือบบนวัสดุต่างๆ - สารละลายน้ำตาล 35.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

$$Sh_P = 6.48\times10^{-5} Re_P^{1.21} Sc^{0.50}$$

$$1.04\times10^4 < Re_P < 2.2\times10^4$$
$$7,072 < Sc < 14,318$$

Thesis Title	A Study of General Solid - Liquid Mass Transfer Correlation in Standard Agitated Vessel
Name	Miss Anchaleeporn Waritswat
Thesis Advisor	Assistant Professor Sasithorn Boon-Long, Dr. 3eme cycle
Department	Chemical Engineering
Academic Year	1986

ABSTRACT

This work is a contribution to the study of general solid - liquid mass transfer coefficient correlation in standard agitated vessel. Solids of different densities are suspended in different liquids, water, 13 wt %, 20 wt % and 35.5 wt % sucrose solution respectively. It is found that density difference ($\Delta\rho$) not greater than 0.4 g/cm^3 had insignificant effect on the mass transfer coefficient. In this study the temperatures are between 25 °C to 45 °C and the speeds of rotation between 250 rpm to 550 rpm.

Results obtained are shown and correlated in terms of dimensionless number

$$Sh_P = rRe_P^{1.21} Sc^{0.50}$$

This correlation is valid for Reynolds number in the range of 1.04×10^4 to 7.7×10^4 and Schmidt number in the range of 411 to 14,318. The constant r depends on the systems in the experiment. In the system of benzoic acid coated on glass beads, polystyrene spheres, plastic particles type 1 and type 2 and water, 13 wt %, 20 wt % and 35.5 wt % sucrose solution, the constant r is

1.90×10^{-5}, 3.00×10^{-5}, 3.57×10^{-5} and 6.48×10^{-5} respectively. The correlations obtained for the systems are as follows

The system of benzoic acid coated on various materials – water

$$Sh_P = 1.90\times10^{-5} Re_P^{1.31} Sc^{0.50}$$

$$4\times10^{4} < Re_P < 7.7\times10^{4}$$
$$411 < Sc < 1,032$$

The system of benzoic acid coated on various materials – 13 wt % sucrose solution

$$Sh_P = 3.00\times10^{-5} Re_P^{1.31} Sc^{0.50}$$

$$3\times10^{4} < Re_P < 5\times10^{4}$$
$$1,210 < Sc < 1,516$$

The system of benzoic acid coated on various materials – 20 wt % sucrose solution

$$Sh_P = 3.57\times10^{-5} Re_P^{1.31} Sc^{0.50}$$

$$2.2\times10^{4} < Re_P < 4.5\times10^{4}$$
$$1,539 < Sc < 3,043$$

The system of benzoic acid coated on various materials - 35.5 wt % sucrose solution

$$Sh_p = 6.48 \times 10^{-5} Re_p^{1.31} Sc^{0.50}$$

$$1.04 \times 10^4 < Re_p < 2.2 \times 10^4$$

$$7,072 < Sc < 14,318$$

ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to express her gratitude to Assistant Professor Dr. Sasithorn Boon-Long, her thesis supervisor, for her encouraging guidance, advice, discussion and helpful suggestions throughout the course of this work. Special thanks are due to Assistant Professor Chairit Satayaprasert, Associate Professor Kroekchai Sukanjanajtee, and Associate Professor Wiwut Tanthapanichakoon as chairman and members respectively of the committee whose criticisms and comments have been especially helpful.

She is indebted to Miss Pattaya Daengprasert H.L.P. Pharmaceutical Industries Co., Ltd. for her kindness in lending the equipment to coat the sample spheres and Thai Polystyrene Co., Ltd. for giving polystyrene spheres.

Without the generous support of the U.D.C., the Master degree course could have never been undertaken. The co-operation and assistance from the Department of Chemical Engineering and the financial support for this research from Chulalongkorn University is gratefullly acknowledged.

She also wishes to thank Miss Ketsanee Rangsikosai who did the typing of this thesis, Mr. Luechai Thamvinaistit for his help in the installation and taking the photographs of the equipments, Mr. Gobboon Lothongkum and Mr. Suwanchai Luepaiboolphantha for their help in coating sample spheres.

Finally, many thanks go to her parents, her friends and all those who encouraged her over the years of her study.

CONTENTS

LIST OF TABLES

LIST OF FIGURES

NOMENCLATURE

Dimensions are given in terms of mass (M), length (L), time (t) and temperature (T).

A	=	Area (L^2)
c	=	Concentration (ML^{-3})
c_f	=	Final concentration (ML^{-3})
c_o	=	Initial concentration (ML^{-3})
c_s	=	Saturation concentration (ML^{-3})
Δc	=	Concentration difference (ML^{-3})
Δc_{ML}	=	Log mean of concentration difference (ML^{-3})
dA	=	Exchange area (L^2)
dm	=	Quantity of dissolved mass per unit time (Mt^{-1})
$\overline{d_p}$	=	Average particle diameter (L)
d_p	=	Particle diameter (L)
D_{AB}	=	Binary diffusivity for system A-B (L^2t^{-1})
D_i	=	Impeller diameter (L)
$\overline{D_v}$	=	Average Diffusion coefficient (L^2t^{-1})
D_v	=	Diffusion coefficient (L^2t^{-1})
g	=	Gravitational acceleration (Lt^{-2})
H_i	=	Impeller height from the tank bottom (L)
H_l	=	Liquid height (L)
k	=	Mass transfer coefficient (Lt^{-1})
L	=	Impeller blade length (L)
m	=	Quantity of mass dissolved per unit time (Mt^{-1})
N	=	Rotation speed (t^{-1})

N' = Mass flux across a phase boundary (mol $L^{-2}t^{-1}$)

N_A = Molar flux of species A (mol $L^{-2}t^{-1}$)

N_B = Molar flux of species B (mol $L^{-2}t^{-1}$)

p = Variable exponent

q = Variable exponent

r = Constant vary with impeller type and system geometry

S = Fractional rate of surface renewal (t^{-1})

t = Time (t)

T = Tank diameter (L)

V = Volume of liquid in the vessel (L^3)

W = Impeller blade width (L)

W_b = Baffle width (L)

x = Variable exponent

X_A = Mole fraction of A (dimensionless)

Z = Thickness of the diffusion film (L)

δ = Film thickness (L)

μ = Liquid viscosity ($ML^{-1}t^{-1}$)

ρ_s = Solid density (ML^{-3})

ρ, ρ_l = Liquid density (ML^{-3})

$\Delta\rho$ = Density difference between solid and liquid = $\rho_s-\rho_l$ (ML^{-3})

ω = Angular velocity (t^{-1})

ϕ_s = Shape factor of particle

Commonly used Dimensionless Groups

Mv	=	Density group $(\rho_s - \rho_1/\rho_1)$
Re_a	=	Reynolds number referred to agitator $(D_i^2 N \rho_1/\mu)$
Re_p	=	Reynolds number referred to solid particle $(Td_p w \rho_1/\mu)$
Re_T	=	Reynolds number referred to tank $(T^2 N \rho_1/\mu)$
Sc	=	Schmidt number $(\mu/\rho_1 D_v)$
Sh_p	=	Sherwood number referred to solid particle (kd_p/D_v)
Sh_T	=	Sherwood number referred to tank (kT/D_v)