

การหาการดูดซับไอของโทลูอีนและอะซิโตนบนหินภูเขาไฟเพอร์ไลต์และพัมมิช โดย
เทคนิคทางโครมาโทกราฟี



นางสาว วรวรรณ นรสุชา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541
ISBN 974-639-616-1
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**DETERMINATION OF ADSORPTION OF TOLUENE AND ACETONE
VAPORS ON PERLITE AND PUMICE VOLCANIC ROCKS USING THE
CHROMATOGRAPHIC TECHNIQUE**



Miss Vorawan Norasucha

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering**

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-639-616-1

Thesis Title DETERMINATION OF ADSORPTION OF TOLUENE
AND ACETONE VAPORS ON PERLITE AND
PUMICE VOLCANIC ROCKS USING THE CHRO-
MATOGRAPHIC TECHNIQUE

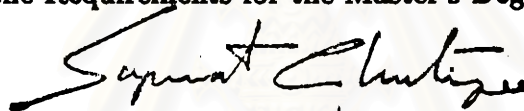
By Miss Vorawan Norasucha

Department Chemical Engineering

Thesis Advisor Deacha Chatsiriwech, Ph.D.

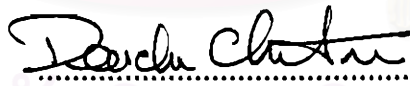
Thesis Co-Advisor Nikom Jungyusuk, M.Sc.


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

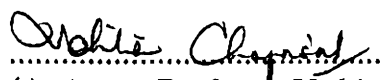

.....Dean of Graduate School
(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)


Thesis Committee


.....Chairman
(Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.)


.....Thesis Advisor
(Deacha Chatsiriwech, Ph.D.)


.....Thesis Co-Advisor
(Nikom Jungyusuk, M.Sc.)


.....Member
(Assistant Professor Vichitra Chongvisal, Ph.D.)

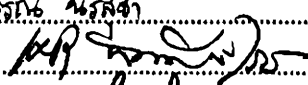
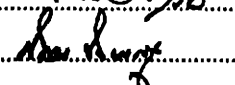

.....Member
(Suttichai Assabumrungrat, Ph.D.)

วรวรรณ นรสุชา : การหาการดูดซับไอของโทลูอินและอะซิโตนบนหินภูเขาไฟเพอร์ไลต์ และพัมมิช โดยเทคนิคทางโครมาโทกราฟี (DETERMINATION OF ADSORPTION OF TOLUENE AND ACETONE VAPORS ON PERLITE AND PUMICE VOLCANIC ROCKS USING THE CHROMATOGRAPHIC TECHNIQUE) อ.ที่
ปรึกษา : ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช, 112 หน้า. ISBN 974-639-616-1.

การศึกษาการดูดซับไอเจือจางของโทลูอินและอะซิโตน บนหินภูเขาไฟชนิดเพอร์ไลต์ ที่ขยายตัวแล้วและหินพัมมิชที่อุณหภูมิ 40-110 องศาเซลเซียส โดยวิธีทางโครมาโทกราฟี สามารถคำนวณค่าคงที่สมดุลการดูดซับและค่าคงที่อัตราการดูดซับของระบบจากการวิเคราะห์โครมาโทแกรมที่ได้ด้วยวิธีทางโมเมนต์ ค่าคงที่สมดุลการดูดซับของอะซิโตนบนเพอร์ไลต์และพัมมิชมีค่ามากกว่ากรณีของโทลูอินบนตัวดูดซับชนิดเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าคงที่สมดุลการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ ในขณะที่ค่าคงที่อัตราการดูดซับของโทลูอินบนตัวดูดซับทั้งสองชนิดจะมีค่ามากกว่าอะซิโตน ปริมาณความร้อนของการดูดซับของอะซิโตนมีค่าสูงกว่าค่าความร้อนแฝงของการควบแน่นและอาจมีค่าสูงถึงสองเท่าของค่าความร้อนแฝงของการควบแน่น ในขณะที่ค่าปริมาณความร้อนของการดูดซับของโทลูอินจะน้อยกว่าค่าความร้อนแฝงของการควบแน่น โดยอาจมีค่าเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของค่าความร้อนแฝงของการควบแน่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต วรวรรณ นรสุชา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 

C817398
KEY WORD:

: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
ADSORPTION / ORGANIC SOLVENT VAPOR / VOLCANIC ROCKS /
GAS CHROMATOGRAPHIC TECHNIQUE

VORAWAN NORASUCHA: DETERMINATION OF ADSORPTION OF
TOLUENE AND ACETONE VAPORS ON PERLITE AND PUMICE
VOLCANIC ROCKS USING THE CHROMATOGRAPHIC TECHNIQUE.

THESIS ADVISOR: DEACHA CHATSIRIWECH, Ph.D.. 112 pp. ISBN .

974-639-616-1.

Adsorption of dilute toluene vapor and acetone vapor on expanded perlite and pumice was carried out with chromatographic method at 40-110°C. The adsorption equilibrium constant and the adsorption rate constant for each adsorbent-adsorbate system was determined from the first absolute moment and the second central moment of the corresponding chromatogram, respectively. The equilibrium constants for acetone on both perlite and pumice were greater than that for toluene on the same adsorbents. In addition, the equilibrium constant varied inversely with the particle sizes. While the adsorption rate constants for toluene on both adsorbents were greater than that for acetone. The heats of adsorption for acetone were greater than the heat of condensation up to two folds. While the heats of adsorption for toluene were than the condensation heat down to a half of it.



สถาบันวิจัยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

ปีการศึกษา..... 2541.....

ลายมือชื่อนิสิต Vorawan Norasucha
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Deacha Chatsiriwech
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม Nohom Tungyuan

ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to express her sincere appreciation to her advisor, Dr. Decha Chatsiriwech for his valuable advice and special attention and also to Khun Nikom Jungyusuk from department of Mineral resources for his attention and useful advice in volcanic rocks background knowledge and supplies sample in laboratory.

She would like to thank to Dr. Wisut Pisutthianon from Geological department Faculty of Science, Chulalongkorn University and Khun Jed Jirajesada, Khun Mukda Jarusripun from physical analysis department for their description in analysis of volcanic rocks.

The author also would like to thank to the thesis committees, Professor Wiwut Tantapanitchakul, Assistant Professor Vichitra Chongvisal and Dr. Suttichai Assabamrongrat for their comments and their kind participation.

Most of all, the author deeply appreciates her family and her friends for their inspiration and encouragement.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTENTS

ABSTRACT IN THAI	iv
ABSTRACT IN ENGLISH	v
LIST OF FIGURES	xi
LIST OF TABLES	xvi
NOMENCLATURE	xix
1 INTRODUCTION	1
2 POROUS ADSORBENTS	4
2.1 Industrial Adsorbents	4
2.1.1 Silica Gel	4
2.1.2 Activated Alumina	6
2.1.3 Zeolites	6
2.2 Natural Adsorbents	9
2.2.1 Perlites	9
2.2.2 Pumice	11

3	GAS ADSORPTION THEORY	12
3.1	Adsorption Equilibrium in Gas Phase	13
3.1.1	Linear Isotherms	14
3.1.2	Nonlinear Isotherms	15
3.2	Adsorption Equilibrium Measurement	16
3.2.1	Volumetric Method	16
3.2.2	Gravimetric Method	17
3.2.3	Chromatographic Method	17
3.3	Gas Adsorption Kinetics	18
3.3.1	External Film Diffusion	18
3.3.2	Pore Diffusion	20
4	ADSORPTION EXPERIMENTS	23
4.1	Determination of Adsorbent Characteristics.	23
4.2	Experiments on Gas Chromatography	24
4.2.1	Determination of Packed Bed Characteristics	24
4.2.2	Adsorbate Preparation	25
4.2.3	Adsorption Experiments	25
5	RESULTS AND DISSCUSSION	29
5.1	Adsorbent Characteristics	29
5.1.1	Scanning Electron Microscope Results	29
5.1.2	BET Results	35

5.1.3	Wet Chemical Analysis Results	36
5.1.4	X-ray Diffraction Results	36
5.2	Column Characterization	37
5.3	First Moment Analysis Results	39
5.3.1	An Adsorption Equilibrium Constant	39
5.3.2	Heat of Adsorption	45
5.4	Second Moment Results	46
5.4.1	Overall Mass Transfer Coefficients	46
5.4.2	Axial Dispersion	48
6	CONCLUSION AND RECOMMENDATION	51
	REFERENCES	53
	APPENDIX	56
A	Clay and Analysis method	56
A.1	Definition of Clay	56
A.2	Composition of Clay Material	57
A.3	Classification of Clay Minerals	58
A.4	Principle of Structure	59
A.4.1	Formation of montmorillonite	66
A.4.2	Structure of Montmorillonite	67
A.5	Calculation	70

	x
A.5.1 Concentrations of Toluene and Acetone Vapors.	70
A.6 Approximated Concentration in column	70
A.7 Adsorption equilibrium constants	71
A.7.1 Calculation of Adsorption equilibrium Constants	71
A.8 Heats of adsorption	72
A.8.1 Calculation of heats of adsorption	72
A.9 Overall mass transfer coefficients	73
B Experimental Data	76
B.1 Weighted mean residence time and Variances	76
B.2 Pressure drop and flowrate	84
C Plots of residence times with the Reciprocal Velocity	85
Curriculum Vitae	92

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

2.1	Surface hydroxyl group on silica surface	5
2.2	Types of secondary units in zeolite structure (a line represents an oxygen atom, and a circle represents a silicon or aluminum atom)	7
2.3	Structure unit of sodalite	8
3.1	Mass transport steps in adsorption by porous adsorbents	19
4.1	A typical packed column of an adsorbent for adsorption experiments	24
4.2	Closed volumetric flask used for adsorbate vapors preparation	26
4.3	Schematic of Perkin Elmer gas chromatograph 8700	28
4.4	Chromatogram from the experiment result	28
5.1	Scanning Electron Microscope of Perlite before expansion	30
5.2	Scanning Electron Microscope of Expanded Perlite 40-60 mesh	30
5.3	Scanning Electron Microscope of Expanded Perlite 60-80 mesh	31
5.4	Scanning Electron Microscope of Expanded Perlite 80-100 mesh	32
5.5	Scanning Electron Microscope of Expanded Perlite 80-100 mesh with higher magnification	32
5.6	Scanning Electron Microscope of Pumice 40-60 mesh	33

5.7	Scanning Electron Microscope of Pumice 60-80 mesh	34
5.8	Scanning Electron Microscope of Pumice 80-100 mesh	34
5.9	x-ray diffraction of pumice	37
5.10	x-ray diffraction of perlite	38
5.11	The sample of the plot of pressure and flowrate of pumice 40-60 mesh of 0.3 cm column length determine the bed porosity	38
5.12	The first moment plot of adsorption of acetone on pumice 80-100 mesh at various temperature	40
5.13	Adsorption equilibrium constants of acetone and toluene on pumice 60-80 mesh	41
5.14	Adsorption equilibrium constants of acetone and toluene on perlite 60-80 mesh	41
5.15	Adsorption equilibrium constants of acetone on perlite and pumice 60-80 mesh	43
5.16	Adsorption equilibrium constants of toluene on perlite and pumice 60-80 mesh	43
5.17	Adsorption equilibrium constant of toluene on pumices with differ- ent particle size	44
5.18	Adsorption equilibrium constant of acetone on pumice with different particle size	45
5.19	The structure of Toluene and Acetone	48

5.20 Overall mass transfer coefficients of toluene on Pumice 40-60 mesh and Pumice 80-100 mesh	49
5.21 Overall mass transfer coefficients of acetone on Pumice 60-80 mesh and Perlite 60-80 mesh	49
5.22 Overall mass transfer coefficients of toluene and acetone on Perlite 40-60 mesh	50
A.1 Structure of the tetrahedral sheet	60
A.2 Structure of the octahedral sheet	62
A.3 Model of silicon-oxygen tetrahedron and aluminum-oxygen octahe- dron	63
A.4 Atom arrangement in the unit cell of a two-layer mineral	64
A.5 Atom arrangement in the unit cell of a three-layer mineral	65
A.6 The first moment plot of adsorption of acetone on pumice 80-100 mesh at 90 ° C	72
A.7 Adsorption equilibrium constants of toluene on Perlite and Pumice volcanic rocks	73
A.8 The second moment plot of adsorption of acetone on pumice 80-100 mesh at 90° C	74
C.1 The plot of Weighted mean residence times of Toluene on Pumice 40-60 mesh	86

C.2	The plot of Weighted mean residence times of Toluene on Pumice	
	60-80 mesh	86
C.3	The plot of Weighted mean residence times of Toluene on Pumice	
	80-100 mesh	87
C.4	The plot of Weighted mean residence times of Acetone on Pumice	
	40-60 mesh	87
C.5	The plot of Weighted mean residence times of Acetone on Pumice	
	60-80 mesh	88
C.6	The plot of Weighted mean residence times of Acetone on Pumice	
	80-100 mesh	88
C.7	The plot of Weighted mean residence times of Toluene on Perlite	
	40-60 mesh	89
C.8	The plot of Weighted mean residence times of Toluene on Perlite	
	60-80 mesh	89
C.9	The plot of Weighted mean residence times of Toluene on Perlite	
	80-100 mesh	90
C.10	The plot of Weighted mean residence times of Acetone on Perlite	
	40-60 mesh	90
C.11	The plot of Weighted mean residence times of Acetone on Perlite	
	60-80 mesh	91

C.12 The plot of Weighted mean residence times of Acetone on Perlite

80-100 mesh 91



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

2.1	Characteristics and Dehumidification Conditions for Common Desiccants	5
2.2	Formula for a unit cell of zeolite A	7
5.1	The BET results of all sizes of Pumices and Perlites compared with commercial zeolite	35
5.2	Wet Chemical Analysis Result	36
5.3	Characterization of Packed Column	39
5.4	Adsorption equilibrium constants of toluene and acetone on both adsorbents at various temperature	40
5.5	Heat of adsorption of toluene and acetone vapors on perlite and pumice	46
5.6	Overall mass transfer coefficient of toluene and acetone on adsorbents at various temperature	47
5.7	Axial dispersion of toluene on Perlite and Pumice Volcanic Rocks	48
B.1	The weighted mean residence time and variances on various flowrate of toluene on pumice 40-60 mesh	76

B.2	The weighted mean residence time and variances on various flowrate of toluene on pumice 60-80 mesh	77
B.3	The weighted mean residence time and variances on various flowrate of toluene on pumice 80-100 mesh	77
B.4	The weighted mean residence time and variances on various flowrate of acetone on pumice 40-60 mesh	78
B.5	The weighted mean residence time and variances on various flowrate of acetone on pumice 60-80 mesh	78
B.6	The weighted mean residence time and variances on various flowrate of acetone on pumice 80-100 mesh	79
B.7	The weighted mean residence time and variances on various flowrate of toluene on perlite 40-60 mesh	80
B.8	The weighted mean residence time and variances on various flowrate of toluene on perlite 60-80 mesh	80
B.9	The weighted mean residence time and variances on various flowrate of toluene on perlite 80-100 mesh	81
B.10	The weighted mean residence time and variances on various flowrate of acetone on perlite 40-60 mesh	81
B.11	The weighted mean residence time and variances on various flowrate of acetone on perlite 60-80 mesh	82

B.12 The weighted mean residence time and variances on various flowrate of acetone on perlite 80-100 mesh	83
B.13 Pressure drops and flowrates of each adsorbent	84



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NOMENCLATURE

a_s	specific surface area, (cm^2/g)
c	sorbate concentration (mol/cm^3)
C	constant value
c_0	initial sorbate concentration (mol/cm^3)
d	pore diameter, (cm)
d_p	particle diameter, (cm)
D_{AB}	binary molecular diffusivity (cm^2/sec)
D_K	Knudsen diffusivity, (cm^2/sec)
D_L	axial dispersion (cm^2/sec)
D_m	molecular diffusivity (cm^2/sec)
D_p	pore diffusivity, (cm^2/sec)
ΔH	heat of adsorption (J/mol)
ΔP	pressure of packed column
k_0	overall mass transfer coefficient (cm/sec)
k_f	external fluid film mass transfer coefficient (cm/sec)
K	adsorption equilibrium constant defined in term of sorbate pressure
K_a	adsorption equilibrium constant for unsaturation isotherm
K_i	adsorption equilibrium constant defined in term of sorbate pressure of component i
K_L	langmuir adsorption equilibrium constant
L	adsorbent bed length (cm)
M	molecular weight
p_i	partial pressure of component i
P	total pressure
P_c	critical pressure
q_i	amount of adsorbate adsorbed of component i
\bar{q}	value of q average over crystal and pellet
q^*	equilibrium value of q
$q_{s,i}$	saturated limit of q_i
r	radius of particle, (cm)
R	gas constant
R_p	adsorbent pellet radius (cm)
t_R	weighted mean residence time (sec)
T	temperature, (K)
T_c	critical temperature, (K)
ν	interstitial velocity of carrier gas, (cm/min)
ν_0	superstitial velocity, (cm/min)
y_i	mole fraction

GREEK LETTERS

ϵ	porosity of adsorbent bed
λ	mean free path,
μ	viscosity of fluid, (g/cm-sec)
ρ	fluid density, (g/cm^3)

ρ_b	bulk density of adsorbent bed, (g/cm ³)
ρ_p	particle density, (g/cm ³)
ρ_s	solid density, (g/cm ³)
σ^2	second moment of chromatogram
τ	tortuosity factor

DIMENSIONLESS GROUPS

Pe	Peclet Number
Re	Reynolds Number
Sc	Schmidt Number
Sh	Sherwood Number



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย