

ผลกระทบของลักษณะของหอดูดาวที่มีต่อลักษณะการผ่านทะเลของ
ระบบอะเซทีลีน-ฮีเลียม

นางสาว ชัญชิตา บุญกระพือ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-384-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFECTS OF ADSORBER CONFIGURATION ON BREAKTHROUGH
CHARACTERISTIC OF THE ACETYLENE-HELIUM SYSTEM**

Miss Chananchida Bunkrapue

**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 1997

ISBN 974-638-384-1

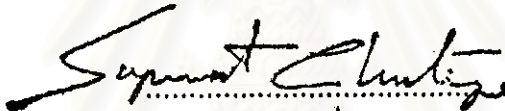
Thesis Title EFFECTS OF ADSORBER CONFIGURATION ON
BREAKTHROUGH CHARACTERISTIC OF THE
ACETYLENE-HELIUM SYSTEM

By Miss Chananchida Bunkrapue

Department Chemical Engineering


Thesis Advisor Deacha Chatsiriwech, Ph.D.

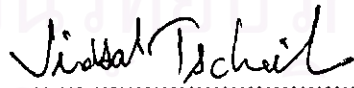
Accepted by Graduate School, Chulalongkorn University in Partial
Fulfilment of the Requirements for the Master's Degree.



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

Thesis Committee


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


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


..... Member
(Jirdsak Tscheikuna, Ph.D.)


..... Member
(Seeroong Prechanont, Ph.D.)

พิมพ์ด้วยกระดาษเคลือบผิวด้วยพลาสติกสีขาวที่เพียงแผ่นเดียว

ชัญญชิตา บุญกระพือ : ผลกระทบของลักษณะของหอดูดซับที่มีต่อลักษณะการผ่าน
ทะลุของระบบอะเซทีลีน-ฮีเลียม (EFFECTS OF ADSORBER CONFIGURA-
TION ON BREAKTHROUGH CHARACTERISTIC OF THE ACETYLENE-
HELIUM SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา : ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช, 130 หน้า. ISBN
974-638-384-1.

สมดุผลการดูดซับของแก๊สอะเซทีลีนบนถ่านกัมมันต์ YAO ที่อุณหภูมิ 323 องศาเซลวิน
สามารถวัดได้จากลักษณะการผ่านทะลุของแก๊สอะเซทีลีน จากหอดูดซับที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
0.46 เซนติเมตร ความยาว 8 เซนติเมตร พบว่าสมดุผลการดูดซับที่วัดได้สอดคล้องกับสมดุผลการดูด
ซับของแลงเมียร์ และสมดุผลการดูดซับของฟรอยดลิตซ์

สำหรับระบบการดูดซับที่มีความเร็วของแก๊ส 15 เซนติเมตรต่อวินาที ลักษณะการ
กระจายความเข้มข้นตามแนวแกนภายในหอดูดซับ จะเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของหอดูดซับ
ตั้งแต่ 2 ถึง 10 เซนติเมตร การเพิ่มความเข้มข้นสายป้อนของแก๊ส จะส่งผลกระทบต่อลักษณะการ
กระจายความเข้มข้นตามแนวแกนภายในหอดูดซับในลักษณะตรงกันข้ามกับความเร็วของแก๊ส เนื่อง
จากเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของแก๊สผสมระหว่างอะเซทีลีนและฮีเลียม และลักษณะ
ของสมดุผลการดูดซับ ขนาดของถ่านกัมมันต์ที่ใช้จะไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะการกระจายความเข้มข้น
ตามแนวแกนภายในหอดูดซับ สำหรับระบบที่มีความเร็วแก๊ส 5 เซนติเมตรต่อวินาที ลักษณะการ
กระจายความเข้มข้นตามแนวแกนภายในหอดูดซับ จะมีลักษณะคงเดิม ไม่เปลี่ยนแปลงตามความ
ยาวของหอดูดซับตั้งแต่ 4 เซนติเมตรขึ้นไป และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสายป้อนของแก๊สจะ
ส่งผลกระทบต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามแนวแกนภายในหอดูดซับน้อยมาก

การเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามแนวแกนภายในหอดูดซับ ที่มีลักษณะคงเดิม
จะขึ้นอยู่กับเวลาเฉลี่ยที่แก๊สอะเซทีลีนอยู่ภายในหอดูดซับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิสิต ชัญญชิตา บุญกระพือ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม

C817256 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: ADSORPTION / BREAKTHROUGH CURVE / CONSTANT PATTERN /
ACETYLENE / ACTIVATED CARBON

CHANANCHIDA BUNKRAPUE : EFFECTS OF ADSORBER CONFIGURA-
TION ON BREAKTHROUGH CHARACTERISTIC OF THE ACETYLENE-
HELIUM SYSTEM. THESIS ADVISOR : DEACHA CHATSIRIWECH, Ph.D.
130 pp. ISBN 974-638-384-1.

An adsorption isotherm of acetylene on a YAO activated carbon at 323 K has been determined from breakthrough curves of a packed column with 0.16 cm in diameter and 8.0 cm in length. The isotherm agrees with both Langmuir and Freudlich isotherms.

With the velocity of 15 cm/s, the shape of the concentration profile has altered as an increase in the bed length from 2 cm to 10 cm. An increase in the feed concentration cause inverse variation of the profile because of the change in properties of acetylene-helium mixture and the shape of isotherm. While the particle size does not alter the shape of the profile. With the velocity of 5 cm/s, the constant shape of the profile can be achieved within the bed length of 4 cm and the effect of the feed concentration on the alteration of the profile, however, becomes insignificant.

The achievement of a constant shape of the concentration profile depends upon the mean residence time of an adsorbate in the bed of adsorbents.

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา..... 2540

ลายมือชื่อนิสิต..... ชัญฉัตร นนกระทีป

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

ACKNOWLEDGEMENT



The author especially grateful to the thesis advisor, Dr. Decha Chatsiriwech for his valuable advise, tolerance and support throughout the course of this work.

The author also would like to thank the thesis committees, Professor Wiwut Tantapanitchakul, Dr.Jirdsak Tscheikuna and Dr.Seeroong Prechanont for their useful comments and participation.

Most of all, the author wishes to express her gratitude to her family and friends for their inspiration and encouragement.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTENTS

ABSTRACT IN THAI	IV
ABSTRACT IN ENGLISH	V
ACKNOWLEDGEMENT	VI
LIST OF FIGURES	XII
LIST OF TABLES	XVII
NOMENCLATURE	XXI
1 Introduction	1
2 Principles of Adsorption	7
2.1 Characteristics of Adsorbents	8
2.2 Adsorption Isotherms	9
2.2.1 Linear Adsorption Isotherm	10
2.2.2 Non-Linear Adsorption Isotherm	10
2.3 Kinetics of Adsorption	12

2.4	Propagation in an Adsorber	17
2.4.1	Axial Dispersion Effects	18
2.4.2	Adsorption Isotherm Effects	19
2.4.3	Adsorption Rate Effects	21
2.5	Breakthrough Curve	23
3	Adsorption Dynamic Experiments	24
3.1	System of Adsorption Experiments	24
3.1.1	Choices of Adsorbents	24
3.1.2	Choices of Adsorbate	25
3.1.3	Inert Diluent Gas	25
3.2	Experimental Apparatus	26
3.2.1	Gas Chromatograph	26
3.2.2	Column of Adsorbent	26
3.2.3	Integrator	29
3.3	Breakthrough Curve Measurement	29
3.4	Experimental Procedure	30
3.4.1	Adsorption Isotherm of Acetylene	30
3.4.2	Effects of Bed Length and Feed Concentration	31
3.4.3	Effects of Adsorbent Particle Size	32
3.4.4	Effects of Superficial Velocity	32

4 Results and Discussion	34
4.1 Adsorbent Selection	34
4.2 Adsorption Isotherm of Acetylene on YAO at 323 K	36
4.3 Dynamic Variation of Concentration Profiles	42
4.3.1 Effects of Bed Length	43
4.3.2 Effects of Particle Sizes of YAO	45
4.3.3 Effects of Superficial Velocities	47
4.4 Variation of the Mass Transfer Zone	50
5 Conclusion and Recommendation	56
5.1 Conclusions	56
5.2 Recommendations	57
REFERENCE	58
APPENDIX	62
A Samples of Calculation	62
A.1 Porosity	62
A.2 Pellet Density	62
A.3 Adsorption Isotherms	63
A.4 Concentration Profile	66
A.5 Mass Transfer Coefficient	69

	X
A.5.1 Film Mass Transfer Coefficient	69
A.5.2 Pore Mass Transfer Coefficient	72
B Breakthrough Curve of Various Bed Lengths	76
B.1 Breakthrough Data	76
B.2 Breakthrough Curve	81
C Concentration Profile of Various Bed Lengths	85
D Breakthrough Curve of Various Adsorbent Sizes	91
D.1 Breakthrough Data	91
D.2 Breakthrough Curve	93
E Concentration Profile of Various Adsorbent Sizes	95
F Breakthrough Curve of Various Superficial Velocities	98
F.1 Breakthrough Data	98
F.2 Breakthrough Curve	99
G Concentration Profile of Various Superficial Velocities	100
H Breakthrough Curve and Concentration Profile of Unpacked and	
Sand Packed Column	102
H.1 Breakthrough and Concentration Profile Data	102
H.2 Breakthrough Curve and Concentration Profile	105



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

1.1	The alternative adsorption process for selective removal of by product from ethane cracking	2
2.1	Simplified adsorption mechanism	12
2.2	Generalized chart for diffusivities of dense gas	15
2.3	Axial dispersion effects	18
2.4	Non-linear adsorption isotherms	21
2.5	Adsorption rate effects	22
2.6	Relation between the concentration profiles and breakthrough curve.	23
3.1	The schematic flow diagram of the experimental setup.	27
4.1	Pore size distribution of YAO, PHO and HRO.	35
4.2	Scanning electron micrograph of the external surface of YAO.	35
4.3	An experimental breakthrough curve of 20%V/V acetylene in feed with superficial velocity 15 cm/s from 8 cm long bed of YAO	36
4.4	An experimental equilibrium plot with the Langmuir model.	38
4.5	An experimental equilibrium plot with the Freundlich model.	39

4.6	The comparison between the experimental equilibrium data, Langmuir model and Freundlich model.	40
4.7	The comparison between the experimental equilibrium data and the publish results.	41
4.8	The concentration profile of acetylene 20%V/V at the superficial velocity of 15 cm/s	43
4.9	The concentration profiles of acetylene at the superficial velocity of 15 cm/s : (a) 33%V/V, (b) 60%V/V.	44
4.10	The concentration profiles of acetylene at superficial velocity of 15 cm/s : (a) unpacked column, (b) sand packed column.	46
4.11	The concentration profile of acetylene 20%V/V using 60-80, 40-60 and 30-40 mesh YAO.	47
4.12	The concentration profile of acetylene using 60-80, 40-60 and 30-40 mesh YAO : (a) 33%V/V, (b) 60%V/V.	48
4.13	The concentration profile of acetylene 60%V/V at superficial velocity 5, 10, 15, 20, 25 and 30 cm/s.	49
4.14	The concentration profile of acetylene 20%V/V at the superficial velocity of 5 cm/s.	50
4.15	The concentration profile of acetylene at the superficial velocity of 5 cm/s : (a) 33%V/V, (b) 60%V/V.	51
4.16	Mean residence time of experimental breakthrough curve.	52

4.17	An experimental MTZ length	53
4.18	The external fluid film mass transfer coefficient	54
4.19	The pore mass transfer coefficient	55
A.1	The plot between $\log \left(\frac{\Delta P}{\rho_b v^2} \right) \left(\frac{D_p}{L} \right)$ against $\log \left(\frac{D_p v \rho_b}{\mu} \right)$	63
A.2	Sketch of breakthrough curve	64
A.3	An experimental breakthrough curve of acetylene 20%V/V from 2 cm long bed of YAO at the superficial velocity of 15 cm/s	66
A.4	The concentration profile of acetylene 20%V/V from 2 cm long bed of YAO at the superficial velocity of 15 cm/s	68
B.1	An experimental breakthrough curve of acetylene 20%V/V at the superficial velocity of 15 cm/s.	81
B.2	An experimental breakthrough curve of acetylene 33%V/V at the superficial velocity of 15 cm/s.	82
B.3	An experimental breakthrough curve of acetylene 60%V/V at the superficial velocity of 15 cm/s.	82
B.4	An experimental breakthrough curve of acetylene 20%V/V at the superficial velocity of 5 cm/s.	83
B.5	An experimental breakthrough curve of acetylene 33%V/V at the superficial velocity of 5 cm/s.	83

B.6	An experimental breakthrough curve of acetylene 60%V/V at the superficial velocity of 5 cm/s.	84
D.1	An experimental breakthrough curve of acetylene 20%V/V using 60-80, 40-60 and 30-40 mesh YAO.	93
D.2	An experimental breakthrough curve of acetylene 33%V/V using 60-80, 40-60 and 30-40 mesh YAO.	94
D.3	An experimental breakthrough curve of acetylene 60%V/V using 60-80, 40-60 and 30-40 mesh YAO.	94
F.1	An experimental breakthrough curve of 60%V/V acetylene at various superficial velocity.	99
H.1	An experimental breakthrough curve of unpacked column at superficial velocity 15 cm/s.	105
H.2	An experimental breakthrough curve of unpacked column at superficial velocity 5 cm/s.	106
H.3	The concentration profile of unpacked column at superficial velocity 5 cm/s.	106
H.4	An experimental breakthrough curve of sand packed column at superficial velocity 15 cm/s	107
H.5	An experimental breakthrough curve of sand packed column at superficial velocity 5 cm/s.	107

H.6 The concentration profile of sand packed column at superficial velocity 5 cm/s.	108
---	-----



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

3.1	The specification of YAO, HRO and PHO.	24
3.2	The physical properties of acetylene.	25
3.3	The physical properties of helium.	26
3.4	The characteristics of YAO packed column.	28
3.5	The velocity of acetylene and helium used in the experiment for the measurment of the adsorption isotherm.	31
3.6	The velocity of acetylene and helium corresponding to the total velocity 15 cm/s.	31
3.7	The velocity of acetylene and helium corresponding to the total velocity 5, 10, 15, 20, 25 and 30 cm/s.	32
3.8	The velocity of acetylene and helium corresponding to the total velocity 5 cm/s.	33
4.1	The characteristics of YAO, PHO and HRO.	34
4.2	Adsorption equilibrium data of acetylene on YAO at 323 K.	37
4.3	Langmuir parameters.	38
4.4	Freudlich parameters.	39

4.5	A normalrize root mean square.	40
B.1	An experimental breakthrough curve of acetylene 20%V/V at the superficial velocity of 15 cm/s.	76
B.2	An experimental breakthrough curve of acetylene 33%V/V at the superficial velocity of 15 cm/s.	77
B.3	An experimental breakthrough curve of acetylene 60%V/V at the superficial velocity of 15 cm/s.	77
B.4	An experimental breakthrough curve of acetylene 20%V/V at the superficial velocity of 5 cm/s.	78
B.5	An experimental breakthrough curve of acetylene 33%V/V at the superficial velocity of 5 cm/s.	79
B.6	An experimental breakthrough curve of acetylene 60%V/V at the superficial velocity of 5 cm/s.	80
C.1	The concentration profile of acetylene 20%V/V at the superficial velocity of 15 cm/s.	85
C.2	The concentration profile of acetylene 33%V/V at the superficial velocity of 15 cm/s.	86
C.3	The concentration profile of acetylene 60%V/V at the superficial velocity of 15 cm/s.	86

C.4	The concentration profile of acetylene 20%V/V at the superficial velocity of 5 cm/s.	87
C.5	The concentration profile of acetylene 33%V/V at the superficial velocity of 5 cm/s.	88
C.6	The concentration profile of acetylene 60%V/V at the superficial velocity of 5 cm/s.	89
D.1	An experimental breakthrough curve of acetylene 20%V/V using 60-80, 40-60 and 30-40 mesh.	91
D.2	An experimental breakthrough curve of acetylene 33%V/V using 60-80, 40-60 and 30-40 mesh.	92
D.3	An experimental breakthrough curve of acetylene 60%V/V using 60-80, 40-60 and 30-40 mesh.	92
E.1	The concentration profile of acetylene 20%V/V using 60-80, 40-60 and 30-40 mesh.	95
E.2	The concentration profile of acetylene 33%V/V using 60-80, 40-60 and 30-40 mesh.	96
E.3	The concentration profile of acetylene 60%V/V using 60-80, 40-60 and 30-40 mesh.	96
F.1	An experimental breakthrough curve of acetylene 60%V/V at various superficial velocities	98

G.1	Concentration profile of acetylene 60%V/V at various superficial velocities	100
H.1	An experimental breakthrough curve and the concentration profile of unpackd column at superficial velocity 15 cm/s	102
H.2	An experimental breakthrough curve and the concentration profile of unpackd column at superficial velocity 5 cm/s	103
H.3	An experimental breakthrough curve and the concentration profile of sand packd column at superficial velocity 15 cm/s	103
H.4	An experimental breakthrough curve and the concentration profile of sand packd column at superficial velocity 5 cm/s	104

NOMENCLATURE

A	cross section area of adsorption column (cm^2)
a_f	film mass transfer area per unit bed volume (cm^{-1})
a_o	overall mass transfer area per unit bed volume (cm^{-1})
a_p	pore mass transfer area per unit bed volume (cm^{-1})
c	concentration of adsorbate (mol/cm^3). Subscript b and f denote bulk gas and gas film, respectively. Superscript $*$ denote equilibrium.
D_{AB}	molecular diffusivity of component A into the atmosphere of component B (cm^2/s)
D_p	pore diffusivity (cm^2/s)
D_p	pore diameter (cm)
J	diffusion flux of adsorbate ($\text{mol}/\text{cm}^2\text{s}$)
K_F	Freundlich adsorption constant (kPa^{-1})
K_L	Langmuir adsorption constant (kPa^{-1})
K_l	linear adsorption constant (kPa^{-1})
$k_f a_f$	film mass transfer coefficient (s^{-1})
$k_o a_o$	overall mass transfer coefficient (s^{-1})
$k_p a_p$	pore mass transfer coefficient (s^{-1})
L	bed length (cm)
M	molecular weight of diffusing gas (g/mol)
N	molar flow rate (mol/s)
P	absolute pressure (kPa)
P_i	partial pressure of component i (kPa)
P_r	reduced pressure
P_s	saturation pressure (kPa)
ΔP	pressure drop ($\text{g}/\text{cm}\cdot\text{s}^2$)
q_i	amount adsorbed (mol/g)
q_s	maximum amount adsorbed (mol/g)
RMS	normalized root mean square
r_p	pore radius (cm)
S	axial position (cm)
S_b	slope of breakthrough curve at y_f
S_{t_b}	axial position at the breakthrough time (cm)
T	absolute temperature (K)
T_r	reduced temperature
t	thickness of adsorbed layer on the surface of adsorbent (\AA)

t_b	breakthrough time (s)
t_m	mean residence (s)
t_e	time for the beginning of steady state condition (s)
V_M	molar volume of adsorbate
v	superficial velocity (cm/s)
v_i	interstitial velocity (cm/s)
W	accumulation of adsorbate in an adsorber (mol)
w	propagation velocity (cm/s)
y	adsorbate mole fraction

DIMENSIONLESS GROUP

Re	Reynolds Number
Sc	Schmidt Number
Sh	Sherwood Number

GREEK LETTERS

ϵ	bed porosity
μ	viscosity (g/cm.s)
μ_c	critical viscosity (g/cm.s)
μ_r	reduced viscosity (g/cm.s)
ρ_b	bulk density (g/cm ³)
ρ_s	pellet density (g/cm ³)
σ	surface tension (g.cm/s ²)
τ	tortuosity factor

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย