

วิธีประเมินขนาดของหลอดซัฟโดยอาศัยเส้นโค้งเบรกทรู  
สำหรับน้ำเสียหองค์ประกอบที่ไม่ทราบชนิด

นายพิเชฐ อินทร์เอื้อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2540  
ISBN 974-638-926-2  
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

METHOD TO ESTIMATE THE SIZE OF AN ADSORBER USING  
THE BREAKTHROUGH CURVE  
FOR UNKNOWN MULTI-COMPONENT WASTEWATER

Mr. Pichate In-eure

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 974-638-926-2



พิมพ์ได้ฉบับที่บัณฑิตยสถานจัดพิมพ์ในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

พิเชฐ อินทร์เอื้อ : วิธีประเมินขนาดของหอดูดซับโดยอาศัยเส้นโค้งเบรกทิว สำหรับน้ำเสียสององค์ประกอบที่ไม่ทราบชนิด (METHOD TO ESTIMATE THE SIZE OF AN ADSORBER USING THE BREAKTHROUGH CURVE FOR UNKNOWN MULTI-COMPONENT WASTEWATER) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร.วิวัฒน์ ตัดทะพานิชกุล , 96 หน้า. ISBN 974-638-926-2

งานวิทยานิพนธ์นี้ได้นำวิธีการทำนายเส้นโค้งเบรกทิวของหอดูดซับแบบหนึ่งสำหรับระบบน้ำเสียสององค์ประกอบ โดยเพียงใช้ข้อมูลจากการทำการทดลองพื้นฐานแบบสั้นซึ่งเสนอครั้งแรกโดยโอคาซากิและคณะ (1989) มาประยุกต์ใช้ สมมติฐานที่โอคาซากิและคณะใช้คือเกิดสมมูลการดูดซับอย่างรวดเร็วทันทีทันใดระหว่างสารองค์ประกอบที่ไม่ทราบชนิดกับตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ งานวิจัยนี้ใช้ถ่านกัมมันต์แบบเส้นใยเป็นตัวดูดซับ ความเข้มข้นรวมของสารมลพิษในน้ำเสียถูกแสดงในรูปของดัชนีของความเข้มข้น ซึ่งในที่นี้คือดัชนีความเข้มข้นรวมของคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) น้ำเสียที่ศึกษาทั้งหมดมีทั้งตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเป็นระบบ 1, 2 และ 3 องค์ประกอบ , ตัวอย่างน้ำก็อก , สารชีวโมลธรรมชาติ และน้ำเสียจากโรงงานในประเทศ

ความเหมาะสมของวิธีนี้ถูกตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบเส้นโค้งเบรกทิวและเวลาเกิดเบรกทิวระหว่างผลที่ได้จากการทำนายและผลจากการทดลองกับหอดูดซับ จากการศึกษาพบว่าในกรณีระบบ 1 องค์ประกอบผลการเปรียบเทียบสอดคล้องกันได้ดี และในระบบ 2 และ 3 องค์ประกอบผลการเปรียบเทียบที่ได้ก็ไม่เลวนัก แต่ในกรณีของสารชีวโมลธรรมชาติและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่ไม่ทราบชนิดนั้น ผลการเปรียบเทียบที่ได้ไม่ดีนักเพราะสมมติฐานของการเกิดการดูดซับอย่างรวดเร็วทันทีทันใดที่ใช้ไม่เป็นจริงในกรณีที่ไม่เลกุลของสารถูกดูดซับมีขนาดหะหะเกินไปที่จะเข้าไปในรูพรุนจุลภาคของถ่านกัมมันต์แบบเส้นใยได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็ยังคงมีข้อดีที่สะดวกในการทำนายเวลาในการเกิดเบรกทิวและกำหนดขนาดของหอดูดซับแบบแพคที่ต้องใช้

ภาควิชา .....วิศวกรรมเคมี.....  
สาขาวิชา .....วิศวกรรมเคมี.....  
ปีการศึกษา .....2540.....

ลายมือชื่อนิสิต ..... พิชญ์ อินทร์เอื้อ .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... ศ.ดร.วิวัฒน์ ตัดทะพานิชกุล .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

# #C717078

: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORDS MULTI-COMPONENT / CHARACTERISTIC DISTRIBUTION CURVE /

BREAKTHROUGH CURVE / INTEGRAL ADSORPTION EQUILIBRIUM CURVE

PICHATE IN-EURE : METHOD TO ESTIMATE THE SIZE OF AN ADSORBER USING THE

BREAKTHROUGH CURVE FOR UNKNOWN MULTI-COMPONENT WASTEWATER. THESIS

ADVISOR : PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D. 96 pp. ISBN 974-638-926-2

A simple practical method first proposed by Okazaki et al. (1989) to predict the breakthrough curve of unknown multi-component wastewater in a fixed bed adsorption column is adopted in the present work. Using only the information from simple jar tests, Okazaki et. al. assumed instantaneous adsorption equilibrium between the unknown solutes and the activated carbon adsorbent. In this work, activated carbon fibers (ACFs) are used as adsorbent. The total concentration of pollutants in the wastewater is given in terms of a comprehensive concentration index, namely, Total Organic Carbon (TOC) concentration index. Synthetic wastewater systems (1-, 2- and 3- component) , tapwater, natural humic substance and domestic factory wastewater are investigated.

Based on experimental column test results, the suitability of the present method is examined by comparison between the predicted and observed breakthrough curves as well as the breakthrough times. It is found that the agreement is quite good for the single-solute systems and not so bad for the binary and tertiary systems. In the case of unknown natural humic substance and industrial wastewater, however, the agreement is not good because the assumption of instantaneous adsorption is not valid when the solute molecules are too bulky to enter quickly the micropores of ACF. Nevertheless, the method is still a handy tool to predict the breakthrough time and to size a packed adsorber.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี  
2540

ปีการศึกษา.....

ลายมือชื่อนิสิต..... *หิวง. ปิณฑะโว*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *วิวัฒน์. ทันทพานิช*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## ACKNOWLEDGEMENT

I am gratefully indebted to so many who have helped in the completion of this thesis:

To my thesis advisor, Prof. Dr. Wiwut Tanthapanichakoon, who motivated me to commence and proceed along this line of research work and constantly gave me encouraging guidance, discussions and helpful suggestions throughout the course of this work.

To Prof. Motoyuki Suzuki and Dr. Akiyoda Sakoda, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, who kindly permitted me to do the majority of the research work in their lab, provided tuition fees and made my stay in Japan fruitful and rewarding.

To the Association of International Education of Japan (AIEJ) for invaluable financial contribution during my one-year stay (1995-1996) in M. Suzuki & A. Sakoda Laboratory

To Thailand Research Fund for the scholarship given from June 1997 to May 1998 via Prof. Dr. Wiwut Tanthapanichakoon.

To the Institute of Environmental Research, Chulalongkorn University, for the use of its TOC Analyzer in the TOC measurements of the industrial wastewater system.

To Prof. Dr. Piyasan Prasertdam, Dr. Jirdsak Tscheikuna and Dr. Deacha Chatsiriwet for their stimulative comments and participation as thesis committee.

To convey my most sincere gratitude to my parents for their morale support.

To all my friends who have encouraged me to pursue the study.

# CONTENT

	<b>Page</b>
<b>ABSTRACT IN THAI</b> .....	iv
<b>ABSTRACT IN ENGLISH</b> .....	v
<b>ACKNOWLEDGEMENT</b> .....	vi
<b>LIST OF TABLES</b> .....	ix
<b>LIST OF FIGURES</b> .....	xi
<b>NOMENCLATURES</b> .....	xiii
<b>CHAPTER</b>	
<b>1. INTRODUCTION</b>	
1.1 Introduction/Background of Research/Significance.....	1
1.2 Objective of the present study.....	3
1.3 Scope of work.....	3
1.4 Literature Review.....	3
<b>2. THEORY</b>	
2.1 Fundamental of adsorption technology.....	9
2.2 Fundamental and Application of ACFs.....	13
2.3 Prediction Method for Unknown Multi-solute Adsorption Systems.....	15
2.3.1 approximate method representing the characteristics of adsorption equilibrium of unknown multi-component solution.....	16
2.3.2 Breakthrough prediction.....	21
<b>3. EXPERIMENTAL</b>	
3.1 Material.....	25
3.1 Method.....	27
<b>4. RESULTS AND DISCUSSION</b>	
4.1 Adsorption equilibrium isotherms.....	30
4.2 Integral Adsorption Equilibrium Curve(IAEC) and Characteristic Distribution curve (CDC).....	31

## CONTENT (continued)

	<b>Page</b>
4.3 Breakthrough curve and Break time.....	31
4.4 Design calculation of an industrial ACF adsorber.....	35
<b>5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATION</b>	
5.1 conclusion.....	62
5.2 Recommendation for future work.....	62
<b>REFERENCE</b> .....	64
<b>APPENDIX</b>	
<b>A1.. Experimental data</b>	
A1.1 Jar test experiments.....	66
A1.2 Comparison intergral adsorption equilibrium curve between Experimental and Calculation results.....	70
A1.3 Comparion between the predicted and experimental breakthrough curve (Column test).....	75
A1.4 Estimated breakthrough characteristics (mass transfer zone).....	85
<b>A2.. Simulation program</b>	
A2.1 Listing of simulation program of parameter fitting method for Characteristic Distribution Curve prediction.....	86
A2.2 Listing of breakthrough curve prediction program.....	93
<b>VITA</b> .....	96



## LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
3-1 Properties of organic chemical species.....	26
3-2 Analytical instrument used.....	26
3-3 Properties of activated carbon fibers-15/-20 .....	27
3-4 The experimental operating conditions in this work.....	29
4-1 Values of the parameters of the Integral Adsorption Equilibrium Curve (IAEC) estimated in the present work.....	33
4-2 Summary of the experimental and predicted breakthrough times.....	34
A1.1-1 Adsorption equilibrium and isotherm data for o-Xylenol solution.....	66
A1.1-2 Adsorption equilibrium and isotherm data for p-Chlorophenol solution.....	67
A1.1-3 Adsorption equilibrium and isotherm data for Benzoic acid solution.....	68
A1.1-4 Adsorption equilibrium and isotherm data for Cyclohexanol solution.....	69
A1.2-1 IAEC between experimental and calculation for XLN solution.....	70
A1.2-2 IAEC between experimental and calculation for PCN solution.....	70
A1.2-3 IAEC between experimental and calculation for BA solution.....	71
A1.2-4 IAEC between experimental and calculation for CHN solution.....	71
A1.2-5 IAEC between experimental and calculation for XLN+PCN solution.....	72
A1.2-6 IAEC between experimental and calculation for PCN+CHN solution.....	72
A1.2-7 IAEC between experimental and calculation for XLN+PCN+BA solution.....	73
A1.2-8 IAEC between experimental and calculation for NHS solution.....	73
A1.2-9 IAEC between experimental and calculation for an industrial wastewater.....	74
A1.3-1 Breakthrough curve for XLN solution Run no. 1-4.....	75
A1.3-2 Breakthrough curve for PCN solution Run no. 5-8.....	76
A1.3-3 Breakthrough curve for BA solution Run no. 9-12.....	77
A1.3-4 Breakthrough curve for CHN solution Run no. 13-16.....	78
A1.3-5 Breakthrough curve for XLN+PCN solution Run no. 17-18.....	79

## LIST OF TABLES (continued)

TABLE	PAGE
A1.3-6 Breakthrough curve for PCN+CHN solution Run no. 19-20.....	80
A1.3-7 Breakthrough curve for XLN+PCN+BA solution Run no. 21-22.....	81
A1.3-8 Breakthrough curve for NHS solution on ACFs-15 (Run no. 24-27).....	82
A1.3-9 Breakthrough curve for an industrial wastewater Run no. 30-33.....	83
A1.3-10 Breakthrough curve for NHS solution on ACFs-20 (Run no. 28-29).....	84
A1.3-11 Breakthrough curve for Tapwater Run no. 23.....	84

## LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2-1 Movement of adsorption zone for fixed bed downflow adsorber.....	12
2-2 Idealized breakthrough curve for fixed bed adsorber.....	12
2-3 Integral (a) and differential (b) adsorption equilibrium curve.....	19
2-4 Distribution of water-phase concentration in bed of adsorbent.....	23
3-1 Integral adsorption equilibrium curve.....	27
3-2 Column test apparatus.....	28
4-1 Freundlich adsorption isotherm on ACF-15 ( $q = kc^{1/n}$ ).....	30
4-2 IAEC and CDC for XLN solution.....	40
4-3 IAEC and CDC for PCN solution.....	41
4-4 IAEC and CDC for BA solution.....	42
4-5 IAEC and CDC for CHN solution.....	43
4-6 IAEC and CDC for XLN+PCN solution.....	44
4-7 IAEC and CDC for PCN+CHN solution.....	45
4-8 IAEC and CDC for XLN+PCN+BA solution.....	46
4-9 IAEC and CDC for NHS solution.....	47
4-10 IAEC and CDC for an oil refinery wastewater.....	48
4-11 Breakthrough curves of XLN solution (Effect of superficial velocity).....	49
4-12 Breakthrough curves of XLN solution (Effect of packing density).....	49
4-13 Breakthrough curves of XLN solution (Effect of bed length).....	50
4-14 Breakthrough curves of PCN solution (Effect of superficial velocity).....	51
4-15 Breakthrough curves of PCN solution (Effect of packing density).....	51
4-16 Breakthrough curves of PCN solution (Effect of bed length).....	52
4-17 Breakthrough curves of BA solution (Effect of superficial velocity).....	53
4-18 Breakthrough curves of BA solution (Effect of packing density).....	53
4-19 Breakthrough curves of BA solution (Effect of bed length).....	54
4-20 Breakthrough curves of CHN solution (Effect of superficial velocity).....	55
4-21 Breakthrough curves of CHN solution (Effect of packing density).....	55

## LIST OF FIGURES (continued)

FIGURE	PAGE
4-22 Breakthrough curves of CHN solution (Effect of bed length).....	56
4-23 Breakthrough curves of XLN+PCN solution (Effect of packing density).....	57
4-24 Breakthrough curves of PCN+CHN solution (Effect of packing density).....	57
4-25 Breakthrough curves of XLN+PCN+BA solution (Effect of packing density).....	58
4-26 Breakthrough curves of NHS solution on ACFs-15 (Effect of superficial velocity).....	59
4-27 Breakthrough curves of NHS solution on ACFs-15 (Effect of bed length).....	59
4-28 Breakthrough curves of an industrial wastewater solution (Effect of bed length).....	60
4-29 Breakthrough curves of an industrial wastewater (Effect of packing density).....	60
4-30 Breakthrough curves of NHS solution on ACFs-20 (Effect of packing density).....	61
4-31 Breakthrough curve of Tapwater .....	61

# CONTENT

	<b>Page</b>
<b>ABSTRACT IN THAI</b> .....	iv
<b>ABSTRACT IN ENGLISH</b> .....	v
<b>ACKNOWLEDGEMENT</b> .....	vi
<b>LIST OF TABLES</b> .....	ix
<b>LIST OF FIGURES</b> .....	xi
<b>NOMENCLATURES</b> .....	xiii
<b>CHAPTER</b>	
<b>1. INTRODUCTION</b>	
1.1 Introduction/Background of Research/Significance.....	1
1.2 Objective of the present study.....	3
1.3 Scope of work.....	3
1.4 Literature Review.....	3
<b>2. THEORY</b>	
2.1 Fundamental of adsorption technology.....	9
2.2 Fundamental and Application of ACFs.....	13
2.3 Prediction Method for Unknown Multi-solute Adsorption Systems.....	15
2.3.1 approximate method representing the characteristics of adsorption equilibrium of unknown multi-component solution.....	16
2.3.2 Breakthrough prediction.....	21
<b>3. EXPERIMENTAL</b>	
3.1 Material.....	25
3.1 Method.....	27
<b>4. RESULTS AND DISCUSSION</b>	
4.1 Adsorption equilibrium isotherms.....	30
4.2 Integral Adsorption Equilibrium Curve(IAEC) and Characteristic Distribution curve (CDC).....	31

## CONTENT (continued)

	<b>Page</b>
4.3 Breakthrough curve and Break time.....	31
4.4 Design calculation of an industrial ACF adsorber.....	35
<b>5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATION</b>	
5.1 conclusion.....	62
5.2 Recommendation for future work.....	62
<b>REFERENCE</b> .....	64
<b>APPENDIX</b>	
<b>A1.. Experimental data</b>	
A1.1 Jar test experiments.....	66
A1.2 Comparison intergral adsorption equilibrium curve between Experimental and Calculation results.....	70
A1.3 Comparion between the predicted and experimental breakthrough curve (Column test).....	75
A1.4 Estimated breakthrough characteristics (mass transfer zone).....	85
<b>A2.. Simulation program</b>	
A2.1 Listing of simulation program of parameter fitting method for Characteristic Distribution Curve prediction.....	86
A2.2 Listing of breakthrough curve prediction program.....	93
<b>VITA</b> .....	96

## NOMENCLATURE

$C_i$	TOC concentration of the $i^{\text{th}}$ component ( $\text{mg-C.l}^{-1}$ )
$Q_i$	Amount adsorbed at equilibrium of the $i^{\text{th}}$ component ( $\text{mg-C.gm-ACF}^{-1}$ )
$Q_{\infty i}$	Amount adsorbed at saturation of the $i^{\text{th}}$ component ( $\text{mg-C.gm-ACF}^{-1}$ )
$c(x)$	Probability density of TOC concentration, ( $\text{mg-C.l}^{-1}$ )
$q(x)$	Probability density of amount of adsorbed TOC, dimensionless
$C_T$	Total TOC concentration ( $\text{mg-C.l}^{-1}$ )
$k_i$	Langmuir coefficient of the $i^{\text{th}}$ component, ( $\text{l.mg-C}^{-1}$ )
$x$	Value of adsorbed TOC at saturation ( $\text{mg-C.gm-ACF}^{-1}$ )
$t_B$	Break time (hr.)
$y$	amount of adsorbent, ( $\text{gm-ACF.l}^{-1}$ )
$E_z$	Axial dispersion coefficient ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ )
$k$	Freundlich constant ( $\text{mg-C.gm-ACF}^{-1}$ )
$k_f a_v$	Mass transfer coefficient across fluid film ( $\text{hr}^{-1}$ )
$k_s a_v$	Mass transfer coefficient inside adsorbent ( $\text{gm-ACF.cm}^{-3} \text{hr}^{-1}$ )
$K_f a_v$	Overall mass transfer coefficient ( $\text{hr}^{-1}$ )
$n$	Freundlich constant
$Pe$	Peclet number
$Q$	Flowrate ( $\text{ml/min.}$ )
$u$	Superficial velocity ( $\text{m.hr}^{-1}$ )
$\beta$	$q_o \times 10^{-3} / C_o$ ( $\text{cm}^3 \text{gm-ACF}^{-1}$ )
$N_{OF}$	Number of mass transfer unit
$t_E$	Exhaust time (hr.)
$t_B$	Break time (hr.)
$V$	Velocity of mass transfer zone (MTZ) ( $\text{cm.s}^{-1}$ )

### Abbreviations

<b>ACF</b>	Activated carbon fiber
<b>C</b>	Organic carbon