

# โปรแกรมการออกแบบหอดูดกลื่นไฮดรอลอริก

นายพินิจ ฤกษ์เมือง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-639-158-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# **ABSORBER DESIGN PROGRAM FOR HYDROCHLORIC VAPOR**

Mr. Pinit reargmuang

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment 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 974-639-158-5

Thesis title                    ABSORBER DESIGN PROGRAM FOR HYDROCHLORIC VAPOR  
By                                 Mr. Pinit Reargmuang  
Department                    Chemical Engineering  
Thesis Advisor                 Dr. Jirdsak Tscheikuna, Ph.D.

---

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



.....Dean of Graduate School

(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)

Thesis Committee



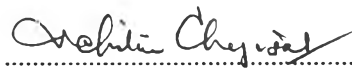
.....Chairman

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



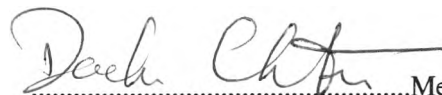
.....Thesis Advisor

(Dr. Jirdsak Tscheikuna, Ph.D.)



.....Member

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



.....Member

(Dr. Deacha Chatsiriwech, Ph.D.)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

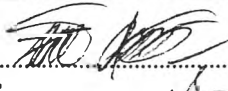
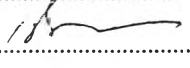
พินิจ ฤกษ์เมือง : โปรแกรมการออกแบบหอดูดกลืนไอกรดไฮโดรคลอริก (ABSORBER DESIGN PROGRAM FOR HYDROCHLORIC VAPOR) อ.ที่ปรึกษา: อ.ดร. เจตศักดิ์ ไชยคุณา, 110 หน้า. ISBN 974-639-158-5

งานวิจัยนี้เป็นการจัดทำโปรแกรมการออกแบบหอดูดกลืนไอกรดไฮโดรคลอริกที่ระเหยจากถังเก็บผลิตภัณฑ์กรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในอุตสาหกรรมซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ไม่ให้ถูกระบายออกสู่บรรยากาศ โดยที่ในปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่ได้มีการรวบรวมการคำนวณที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เข้าเป็นเนื้อหาเดียวกัน

โปรแกรมที่จัดทำขึ้นนี้สามารถใช้ในการหาขนาดของหอดูดกลืนที่สภาวะต่าง ๆ และสามารถทำการจำลองการทำงานของหอดูดกลืนที่มีอยู่แล้ว โดยโปรแกรมจะแบ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้เป็นสองส่วน ได้แก่ แบบจำลองในการประมาณอัตราการระเหยของกรดไฮโดรคลอริกในถังเก็บ และแบบจำลองของหอดูดกลืนชนิดหอบรรจุวัสดุ

ผลการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองหาปริมาณการระเหยของไอกรดไฮโดรคลอริกและผลการทดลองของหอดูดกลืนที่สภาวะจริง พบว่าผลการคำนวณมีความแตกต่างจากผลการทดลอง เนื่องจากสมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ คือระบบเก็บกรดไฮโดรคลอริก มีสภาวะใกล้เคียงกับสภาวะอุดมคติ ซึ่งมีความแตกต่างจากระบบจริง และเนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณบางส่วนยังขาดความเที่ยงตรง แต่โปรแกรมก็สามารถใช้งานเป็นแนวทางในการออกแบบหอดูดกลืนไอกรดไฮโดรคลอริกในทางอุตสาหกรรมได้

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

ลายมือชื่อนิสิต .....  .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... - .....

## พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

## C717440 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: HYDROCHLORIC ACID / ABSORPTION / PACKED ABSORBER

PINIT REARGMUANG : ABSORBER DESIGN PROGRAM FOR HYDROCHLORIC VAPOR

THESIS ADVISOR : JIRDSAK TSCHAIKUNA, Ph.D.

110 PP. ISBN 974-639-158-5

This work is intended to establish computer design program for packed absorber connecting with hydrochloric acid storage tank. Packed absorber is required to prevent toxic hydrochloric vapor from being emitted. At present, suitable design procedure is not available in Thailand.

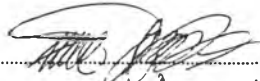
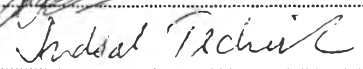
Program can be applied both packed absorber design and packed absorber simulation. Program consists of the model for prediction of vaporization rate of hydrochloric acid from storage tank and the model for the simulation of packed absorber operation.

Program accuracy is verified by comparison of the results of the program calculation with the experimental results. It indicates that the program can be used within a certain limit close to ideal condition. Deviation of results is mainly caused by deviations of basic assumption and unavailability of input data. Program can be applied to guidance for design packed absorber for hydrochloric vapor from hydrochloric acid storage tank which is used in industries.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

ปีการศึกษา.....2540.....

ลายมือชื่อนิสิต..........ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... - .....



## ACKNOWLEDGMENT

I would like to express gratitude and deep appreciation to my advisor, Dr. Jirdsak Tscheikunu for his patience, helpful guidance and encouragement in all aspects throughout the period of this project. In addition, I am grateful to Prof. Dr. Wiwut Tanthapanichakoon, Assist. Prof. Dr. Vichitra Chongvisal and Dr. Deacha Chatsiriwech for their comments and corrections of this manuscript. I am deeply grateful to Siam Occidental Electrochemical Co., Ltd., for the use of equipment, materials, raw materials and excellent facilities.

Finally, my sincere gratitude to my parents and my friends for their encouragement and suggestions throughout this successful thesis.

## CONTENT

	<b>Page</b>
THAI ABSTRACT.....	IV
ENGLISH ABSTRACT.....	V
ACKNOWLEDGMENT.....	VI
LIST OF TABLES.....	IX
LIST OF FIGURES.....	XI
NOMENCLATURES.....	XIII
<b>CHAPTER</b>	
1. INTRODUCTION.....	1
2. THEORY AND LITERATURE REVIEW.....	3
2.1 Theory and physical principle for gas absorption in packed absorber.....	3
2.2 Hydrochloric vapor absorption.....	15
2.3 Radiation heat transfer in hydrochloric storage tank.....	18
3. MODELING AND SIMULATION OF HYDROCHLORIC VAPOR PACKED ABSORBER.....	23
3.1 Hydrochloric acid storage tank.....	23
3.2 Derivation of mathematical modeling for design of packed absorber for hydrochloric vapor absorption.....	23
3.3 Mathematical model for design of packed absorber.....	32
3.4 Mathematical model for simulation of packed absorber.....	33
3.5 Packed absorber design programming.....	33
3.6 Program using guide.....	35
4. EXPERIMENTS.....	50
4.1 Experiment for prediction of hydrochloric acid vaporization rates.....	50
4.2 Experiment for prediction of composition in vaporized gas from hydrochloric acid .....	53
4.3 Experiment on existing packed absorber in plant site.....	55
5. RESULTS AND DISCUSSIONS.....	59
5.1 Model for prediction of vaporization rate accuracy verification.....	59

5.2 Calculation for prediction of composition in gas accuracy verification.....	68
5.3 Packed absorber modeling accuracy verification.....	68
5.4 Design program testing result.....	71
6. CONCLUSION.....	72
REFERENCES.....	73
APPENDIX A.....	74
APPENDIX B.....	83
APPENDIX C.....	86
APPENDIX D.....	96
APPENDIX E.....	106
BIOGRAPHY.....	110



## LIST OF TABLES

Table	Page
2.1 Fundamental equation for n-th cell model.....	10
2.2 Comparisons of absorptivities of various surfaces to solar and low temperature thermal radiation.....	20
3.1 Composition in gas and liquid phase.....	26
4.1 Results of experiment to estimate vaporization rate from hydrochloric acid at outdoor condition.....	51
4.2 Results of experiment to estimate vaporization rate from hydrochloric acid at indoor condition.....	52
4.3 Results of experiment to estimate composition in vaporized gas from hydrochloric acid....	54
4.4 Packed absorber in the experiment.....	55
4.5 Hydrochloric acid storags tank in the experiment.....	56
4.6 Experimental results on existing packed absorber.....	58
5.1 Calculation for estimated vaporization rate from hydrochloric acid at outdoor condition....	61
5.2 Calculation for estimated vaporization rate from hydrochloric acid at indoor condition....	62
5.3 Program simulated results for comparison with experimental results in Table 4.1.....	63
5.4 Program simulated results for comparison with experimental results in Table 4.2.....	64
5.5 Program simulated results for comparison with calculation results in Table 5.1.....	65
5.6 Calculation for vaporization rate from experimental results in Table 4.5.....	66
5.7 Program simulated results by using input data from experimental results in Table 4.5.....	67
5.8 Program simulated results by using data from experimental in item 4.3 of Chapter 4.....	69
5.9 Comparison program design result with existing absorber.....	71
A.1 Gas viscosity in packed absorber operating condition range.....	74
A.2 Atomic diffusion volume for use in estimating $D_v$ by method of Fuller, Schettler, and Giddings.....	76
A.3 A,B constant for equation(A-10).....	78
A.4 Specific heat of hydrochloric acid.....	80
B.1 Critical surface tension of packing materials.....	84
B.2 Physical characteristics of dry commercial packings.....	85

E.1 Conclusion of radiation balance Q and total radiation data.....	107
E.2 Conversion of radiation balance Q and total radiation data from Table E.1.....	108

## LIST OF FIGURES

<b>Figure</b>	<b>Page</b>
2.1 Basic diagram of packed absorber.....	4
2.2 The two film concept.....	6
2.3 Packed absorber is separated to n-th cell model.....	9
2.4 n-th cell model.....	9
2.5 Sequential cell flow graph.....	12
2.6 x-y diagram for adiabatic absorption of HCl at 1 atmosphere.....	15
2.7 Schematic diagram show effect of incident radiation.....	19
2.8 Schematic heat transfer for hydrochloric acid storage tank.....	21
3.1 Hydrochloric acid storage system.....	24
3.2 Main program flow chart.....	36
3.3 Case A flow chart.....	37
3.4 Case B flow chart.....	40
3.5 Case C flow chart.....	43
3.6 Case D flow chart.....	46
3.7 Case E flow chart.....	48
4.1 Scheme of the experiment on existing packed absorber in plant site.....	57
A.1 Prediction chart for hydrochloric acid specific heat capacity.....	81
B.1 Common packing shapes.....	83
C.1 Menu of program name .....	87
C.2 Menu of program owner.....	88
C.3 Menu of main program menu.....	89
C.4 Menu of packed absorber design program case A.....	90
C.5 Menu of packed absorber design program case B.....	91
C.6 Menu of packed absorber design program case C.....	92
C.7 Menu of packed absorber design program case D.....	93
C.8 Menu of packed absorber design program case E.....	94
C.9 Menu of example of program input data.....	95

D.1 Result of design program st limited pH = 1.5.....	97
D.1 Result of design program st limited pH = 2.0.....	98
D.3 Simulation results by result by input data from Table 4.5.....	99

## NOMENCLATURE

$\theta$	Stefan-Boltzmann constant, $5.669 \times 10^{-8}$	$[\text{W}/\text{m}^2 \text{K}^4]$
$\alpha$	Absorptivity	$[-]$
$\lambda_A$	Heat of solution	$[\text{kJ}/\text{kmol}]$
$\lambda_w$	Latent heat of vaporization	$[\text{kJ}/\text{kmol}]$
$\mu_L$	Liquid viscosity	$[\text{kg}/\text{m s}]$
$\mu_V$	Gas viscosity	$[\text{kg}/\text{m s}]$
$\rho_L$	Liquid density	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
$\rho_V$	Gas density	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
$\sigma$	Liquid surface tension	$[\text{dynes}/\text{cm}]$
$\sigma_c$	Critical surface tension of packing material	$[\text{dynes}/\text{cm}]$
$a_V$	Packing surface area per unit volume of packing	$[\text{m}^2/\text{m}^3]$
$a_w$	Surface area of wetted packing	$[\text{m}^2/\text{m}^3]$
$A$	Packed absorber cross area	$[\text{m}^2]$
$A_s$	Total area of storage	$[\text{m}^2]$
$A_t$	Storage tank cross area	$[\text{m}^2]$
$c$	Concentration of gas	$[\text{kgmol}/\text{m}^3]$
$C_1$	Dimensionless constant. $C_1 = 5.23$ for packing larger than 1/2 in. ; $C_1 = 2.0$ for packing less than 1/2 in.	
$C_p$	Molar heat capacity	$[\text{kJ}/\text{kgmol.K}]$
$C_{pG}$	Gas heat capacity	$[\text{kJ}/\text{kgmol.K}]$
$C_{pL}$	Liquid molar heat capacity	$[\text{kJ}/\text{kgmol.K}]$
$D$	Diameter of packed absorber	$[\text{m}]$
$D_L$	Liquid-phase diffusion coefficient	$[\text{m}^2/\text{s}]$
$D_p$	Nominal packing size	$[\text{m}]$
$D_V$	Gas-phase diffusion coefficient	$[\text{m}^2/\text{s}]$
$E$	Emissive power of the body	$[\text{W}/\text{m}^2]$
$E_b$	Emissive power of the black body	$[\text{W}/\text{m}^2]$
$F$	Continuous hydrochloric acid flowrate to storage tank	$[\text{m}^3/\text{h}]$
$g$	Acceleration of gravity, 9.81	$[\text{m}/\text{s}^2]$
$G$	Gas molar flowrate	$[\text{kgmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}]$
$G_L$	Liquid-phase mass velocity	$[\text{kg}/\text{s m}^2]$

$G_S$	Gas-phase flowrate	[kgmol/s]
$G_V$	Gas-phase mass velocity	[kg/s m <sup>2</sup> ]
$h_{GA}$	Volumetric heat transfer coefficient (gas phase)	[W/m <sup>3</sup> .K]
$h_{LA}$	Volumetric heat transfer coefficient (liquid phase)	[W/m <sup>3</sup> .K]
$h_i$	Height of packed absorber	[m]
$h_n$	Height of packed absorber at n-th cell	[m]
$H$	Henry constant	[-]
$k_G$	Individual gas-phase mass transfer coefficient	[ mol/s m <sup>2</sup> (N/m <sup>2</sup> ) ]
$k_L$	Individual liquid-phase mass transfer coefficient	[mol/s m <sup>2</sup> (mol/m <sup>3</sup> ) ]
$k_{w,a}$	Volumetric mass transfer coefficient (solvent vapor in gas phase)	[kgmol/m <sup>3</sup> .s]
$k_{L,a}$	Volumetric mass transfer coefficient (solute in liquid phase)	[kgmol/m <sup>3</sup> .s]
$k_{G,a}$	Volumetric mass transfer coefficient (solute in gas phase)	[kgmol/m <sup>3</sup> .s]
$K$	Equilibrium ratio	[-]
$K_{OG}$	Overall gas-phase mass transfer coefficient	[ mol/s m <sup>2</sup> (N/m <sup>2</sup> ) ]
$L$	Liquid molar flowrate	[kgmol/m <sup>2</sup> .s]
$m$	Equilibrium constant	[-]
$M$	Molecular weight	[-]
$N$	Total number of cells	[-]
$N$	Mass transfer rate	[kgmol/m <sup>2</sup> .s]
$P$	Total pressure	[Pa]
$p$	Partial pressure	[Pa]
$q$	Heat transfer rate	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q$	Radiation heat transfer	[kJ/s]
$Q/A$	Solar radiation	[W/m <sup>2</sup> ]
$T$	Temperature	[C], [K]
$V$	Gas phase velocity at inlet of absorber	[m/s]
$x$	Concentration of solute in liquid	[kgmol/kgmol]
$X$	Concentration of hydrochloric in water	[% by weight]
$y$	Concentration of solute in gas	[kgmol/kgmol]
$Y$	Concentration of hydrochloric in vent gas	[mg/Nm <sup>3</sup> ]
$w$	Concentration of solvent in gas	[kgmol/kgmol]
$Z$	Tower height	[m]
$\Delta Z$	Height of cell, 0.01	[m]

**<Subscripts>**

<i>A</i>	Solute
<i>B</i>	Tower bottom
<i>G</i>	Gas phase
<i>HCl</i>	Hydrochloric vapor
<i>H<sub>2</sub>O</i>	Water vapor
<i>L</i>	Liquid phase
<i>n</i>	Cell number
<i>S</i>	Interface
<i>sun</i>	Sun
<i>sur</i>	Surrounding
<i>t</i>	Packed absorber
<i>T</i>	Tower top
<i>W</i>	Solvent

**<Superscripts>**

*	Equilibrium condition
---	-----------------------