

**SURFACTANT-ENHANCED REGENERATION OF
GAS PHASE APPLICATION GRANULAR ACTIVATED CARBON
AND XAD-4 POLYMERIC RESIN**



Mr. Pipop Thamtharai

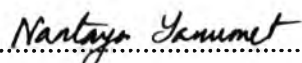
A Dissertation Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University
in Academic Partnership with
The University of Michigan, The University of Oklahoma,
and Case Western Reserve University

2007

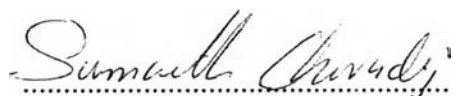
502079


Thesis Title: Surfactant-enhanced Regeneration of Gas Phase Application
Granular Activated Carbon and XAD-4 Polymeric Resin
By: Pipop Thamtharai
Program: Petrochemical Technology
Thesis Advisors: Asst. Prof. Pomthong Malakul
Assoc. Prof. Pramoch Rangsunvigit
Prof. John F. Scamehorn


Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.



..... College Director
(Assoc. Prof. Nantaya Yanumet)


Thesis Committee:

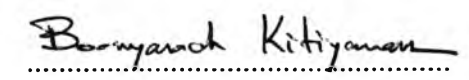

.....
(Assoc. Prof. Sumaeth Chavadej)


.....
(Asst. Prof. Pomthong Malakul)


.....
(Assoc. Prof. Pramoch Rangsunvigit)


.....
(Prof. John F. Scamehorn)


.....
(Assoc. Prof. Kenneth Haller)


.....
(Asst. Prof. Boonyarach Kitiyanan)

ABSTRACT

4392002063: **PETROCHEMICAL TECHNOLOGY PROGRAM**
Pipop Thamtharai: **Surfactant-enhanced Regeneration of Gas Phase Application Granular Activated Carbon and XAD-4 Polymeric Resin**
Thesis Advisors: Asst. Prof. Pomthong Malakul, Assoc. Prof. Pramoch Rangsunvigit, and Prof. John F. Scamehorn, 107 pp.

Keywords: Surfactant/ Regeneration/ Activated carbon/
Polymeric adsorbent

This research work presents the regeneration of trichloroethylene (TCE)-saturated adsorbents (granular activated carbon (GAC) and polymeric resin) with a surfactant, sodium dodecyl sulfate (SDS), in an aqueous solution in a column contactor. The effects of bed height and various parameters (i.e. water flushing, flow rate of regenerant solution, concentration of SDS in regenerant solution, flow rate of water during flushing step) on the effectiveness of regeneration were investigated. Results indicated that the minimum bed height of GAC providing a full length of breakthrough curves for both fresh and regenerated GAC was 3.6 cm corresponding to 9 g of GAC. More than 95% of TCE was desorbed from both adsorbents. However, only 15% and 60% of fresh GAC and fresh polymeric resin adsorption capacity could be recovered. For the investigation of parameters influencing effectiveness of regeneration, the water flushing can improve their adsorption capacity by the factor of two. The regenerant solution flow rate and concentration of SDS in regenerant solution did not affect the removal of TCE for GAC whereas they affected the polymeric resin. Therefore, the removal of TCE is limited by mass transfer for GAC while it is limited by equilibrium for the resin. The water flow rate during the flushing did not affect the removal of SDS. Results from the thermal gravimetric analysis (TGA) confirmed that TCE and SDS residual remain on both adsorbents surface.

บทคัดย่อ

พิภพ ธรรมธำชัย : การฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์และพอลิเมอร์เรซิน XAD-4 ที่ใช้ในเฟสก๊าซด้วยสารลดแรงตึงผิว Surfactant-enhanced Regeneration of Gas Phase Application Granular Activated Carbon and XAD-4 Polymeric Resin อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา รศ.ดร.ปราโมช รั้งสรรวิจิตร และ ศ.ดร. John F. Scamehorn 107 หน้า

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการฟื้นฟูสภาพสารดูดซับที่อิ่มตัวด้วยไตรคลอโรเอทิลีนที่เป็นถ่านกัมมันต์และพอลิเมอร์เรซิน XAD-4 โดยใช้โซเดียม โดเดคซิล ซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate) เป็นสารลดแรงตึงผิว ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ความสูงของเบด และตัวแปรอื่นที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการฟื้นฟูสภาพ ได้แก่ การล้างด้วยน้ำ อัตราการไหลของสารชะล้าง ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารชะล้าง และอัตราการไหลของน้ำในชั้นการล้างด้วยน้ำ จากการทดลองพบว่าความสูงของเบดอย่างน้อย 3.6 ซม. หรือ 9 กรัมของถ่านกัมมันต์ที่ทำให้ breakthrough curves ที่สมบูรณ์ ในชั้นการฟื้นฟูสภาพไตรคลอโรเอทิลีนถูกกำจัดออกจากตัวดูดซับได้มากกว่าร้อยละ 95 และความสามารถในการดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพสูงถึงร้อยละ 40 และร้อยละ 60 ของความสามารถในการดูดซับเริ่มต้นสำหรับตัวดูดซับที่เป็นถ่านกัมมันต์และพอลิเมอร์เรซินตามลำดับ สำหรับการศึกษาในส่วนของปัจจัยที่ประสิทธิภาพของการฟื้นฟูสภาพ พบว่าการล้างด้วยน้ำทำให้ความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของสารดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพโดยไม่ล้างด้วยน้ำ อัตราการไหลของสารชะล้างและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารชะล้างไม่มีผลต่อการดึงไตรคลอโรเอทิลีนในกรณีของตัวดูดซับที่เป็นถ่านกัมมันต์แต่มีผลกับตัวดูดซับที่เป็นพอลิเมอร์เรซิน ทำให้สรุปได้ว่าการดึงไตรคลอโรเอทิลีนออกจากผิวของสารดูดซับที่เป็นถ่านกัมมันต์ถูกจำกัดด้วยการถ่ายโอนมวลสารของไตรคลอโรเอทิลีน ในขณะที่ตัวดูดซับที่เป็นพอลิเมอร์เรซินถูกจำกัดด้วยสมดุลของการละลายของไตรคลอโรเอทิลีน ส่วนอัตราการไหลของน้ำในชั้นการล้างไม่มีผลต่อการล้างสารลดแรงตึงผิวที่ตกค้างบนผิวของตัวดูดซับทั้งสองชนิด นอกจากนี้จากการวิเคราะห์เชิงความร้อนยืนยันว่ามีไตรคลอโรเอทิลีนและโซเดียม โดเดคซิล ซัลเฟต ตกค้างบนสารดูดซับทั้งสองชนิด

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to sincerely express my highly gratefulness to my advisors; Prof. John F. Scamehorn, Asst. Prof. Pomthong Malakul and Assoc. Pramoch Rangsunvigit for their guidance, useful advices, kind and constructive criticism, consistent inspiration and encouragement throughout this research.

I also would like to give my thankfulness to Assoc. Prof. Sumaeth Chavadej and Assoc. Prof. Kenneth Haller for being as my thesis committee and giving me the comments and suggestions.

The funding support for this research from the Petroleum and Petrochemical College; and the National Excellence Center for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials, Thailand is acknowledge. Granular activated carbon, one of the adsorbents used in this work supported from Calgon Carbon Co., Ltd. (USA) is also gratefully acknowledge

I would like to thank the Department of Materials Technology, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University for the permission to let me taking leave for PhD study, and also partial funding from Ramkhamhaeng University.

I would like to express my sincerely gratitude to all faculties and staff at the PPC for knowledge that I learnt from them as well as their help to facilitate all work.

Finally, I would like to express my deep grateful to my parents for their love, caring and supporting me at all times.

TABLE OF CONTENTS

	PAGE
Title Page	i
Abstract (in English)	iii
Abstract (in Thai)	iv
Acknowledgements	v
Table of Contents	vi
List of Tables	ix
List of Figures	x
CHAPTER	
I INTRODUCTION	1
II LITERATURE REVIEW	3
2.1 Activated Carbon	3
2.2 Application of Activated Carbon	4
2.3 Regeneration of Activated Carbon	6
2.4 Surfactant-Enhanced Carbon Regeneration	10
2.5 Regeneration of Polymeric Hydrophobic Resin	14
2.6 References	16
III EXPERIMENTAL	21
3.1 Materials	21
3.2 Methodology	23
3.3 Experimental Equipment	24
3.4 Experimental Procedure	25
3.5 Investigated Parameters	29

CHAPTER	PAGE
IV IN-SITU REGENERATION OF TRICHLOROETHYLENE- ADSORBED GRANULAR ACTIVATED CARBON USING SODIUM DODECYL SULFATE	30
4.1 Abstract	30
4.2 Introduction	30
4.3 Materials and Methods	33
4.4 Results and Discussion	33
4.5 Conclusions	37
4.6 References	43
V SURFACTANT-ENHANCED REGENERATION OF GRANULAR ACTIVATED CARBON USED IN REMOVAL OF A VOLATILE ORGANIC COMPOUND	45
5.1 Abstract	45
5.2 Introduction	45
5.3 Experimental Section	47
5.4 Adsorption/Desorption Experiments	51
5.5 Results and Discussion	51
5.6 Conclusions	62
5.7 Acknowledgements	62
5.8 References	63
VI SURFACTANT-ENHANCED CARBON REGENERATION IN VAPOR-PHASE APPLICATION	65
6.1 Abstract	65
6.2 Introduction	66
6.3 Materials and Experimental Section	67
6.4 Results and Discussion	70

CHAPTER	PAGE
6.5 Conclusions	75
6.6 Acknowledgements	75
6.7 References	76
VII SURFACTANT-ENHANCED CARBON REGENERA VAPOR-PHASE APPLICATION	86
7.1 Abstract	86
7.2 Introduction	86
7.3 Materials and Experimental Section	88
7.4 Results and Discussion	90
7.5 Conclusions	94
7.6 Acknowledgements	95
7.7 References	96
VIII CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	105
CURRICULUM VITAE	106

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
CHAPTER III		
3.1	Properties of BPL 4x10 GAC	21
3.2	Properties of XAD-4 resin	22
3.3	Properties of TCE	22
3.4	Properties of SDS	23
3.5	Investigated parameters	29
CHAPTER IV		
4.1	Some relevant properties of TCE	34
4.2	Some relevant properties of SDS	34

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
CHAPTER II		
2.1	Principle of SECR	12
2.2	Schematic diagram of the process strategy of SECR	12
CHAPTER III		
3.1	Schematic diagram of adsorption and regeneration system	25
3.2	Set up of adsorption step	26
3.3	Set up of desorption step	27
3.4	Set up of flushing step	27
3.5	Set up of drying step	28
CHAPTER IV		
4.1	Process strategy for surfactant-enhanced carbon regeneration	32
4.2	Schematic diagram of experimental	36
4.3	Breakthrough curves of fresh and non-flushed regenerated GAC at several bed heights	39
4.4	Concentration of TCE in the SDS solution	40
4.5	Total TCE removal from GAC by SDS	40
4.6	SDS concentration in flushing water	41
4.7	Total SDS removal from GAC	41
4.8	Breakthrough curves of the regenerated GAC with and without water flushing as compared to that of fresh activated carbon	42

FIGURE	PAGE
CHAPTER V	
5.1 Process strategy for surfactant-enhanced carbon regeneration	47
5.2 Schematic diagram of the experimental set up	49
5.3 TCE removal by using 0.1 M SDS regenerant and regenerant flowrate of 5 mL/min and 30°C	52
5.4 Breakthrough curves of fresh and regenerated activated carbons at 30°C and different bed heights	54
5.5 Breakthrough curves of regenerated activated carbons with and without water flushing at 30°C and a water flow rate of 5 mL/min as compared to fresh activated carbon	55
5.6 TCE concentration in regenerant solution as a function of regenerant flowrate	56
5.7 TCE removal at different regenerant flowrates and 30°C	57
5.8 TCE concentration in regenerant solution as a function of regenerant concentration at 30°C	58
5.9 TCE concentration in regenerant solution as a function of regenerant concentration at 30°C	58
5.10 SDS removal at different flushing water flowrates at 30°C	59
5.11 SDS removal at different flushing water temperature	60
5.12 Adsorption-desorption isotherms of SDS on/from activated carbon	61
CHAPTER VI	
6.1 Surfactant-enhanced carbon regeneration for a vapor-phase GAC application	79
6.2 Schematic diagram of the experimental set up	79
6.3 Breakthrough curves of fresh and regenerated carbon	80

FIGURE	PAGE
CHAPTER VI	
6.4 TCE concentration in effluent regenerant solution with [SDS] of 0.1 M and a flow rate of 5 mL/min	80
6.5 Fractional TCE removal during regeneration with [SDS] of 0.1 M and a flow rate of 5 mL/min.	81
6.6 TCE concentration in effluent regenerant solution with [SDS] of 0.1 M at several flow rates	81
6.7 Fractional TCE removal during regeneration with [SDS] of 0.1 M at several flow rates	82
6.8 TCE concentration in effluent regenerant solution with [SDS] of 0.1 and 0.2 M at a flow rate of 5 mL/min	82
6.9 Fractional TCE removal during regeneration with [SDS] of 0.1 and 0.2 M at a flow rate of 5 mL/min Schematic diagram of the experimental set up	83
6.10 Fractional SDS removal during flush with water at several flow rates	83
6.11 Adsorption-desorption isotherms of SDS on/from GAC (a) 30°C (b) 50°C (c) 70°C	84
6.12 Fractional SDS removal during flush with water at 30°C and 50°C	85
6.13 Thermograms from thermal gravimetric analysis of GAC (at a heating rate of 5 °C/min)	85
CHAPTER VII	
7.1 Schematic diagram of the experimental apparatus.	99
7.2 a Breakthrough curves for TCE in air with fresh and regenerated resin	99

FIGURE		PAGE
CHAPTER VII		
7.2 b	Adsorption isotherms of TCE on resin	100
7.3	TCE concentration in effluent regenerant solution with [SDS] of 0.1 M and flow rate of 5 mL/min	100
7.4	Fractional TCE removal during regeneration with [SDS] of 0.1 M and a flow rate of 5 mL/min	101
7.5	TCE concentration in effluent regenerant solution with [SDS] of 0.1 M at several flow rates	101
7.6	Fractional TCE removal during regeneration with [SDS] of 0.1 M at several flow rates	102
7.7	Fractional TCE removal during regeneration with [SDS] of 0.074, 0.1 and 0.2 M at a flow rate of 5 mL/min	102
7.8	Fractional TCE removal during regeneration with [SDS] of 0.074, 0.1 and 0.2 M at a flow rate of 5 mL/min	103
7.9	Fractional SDS removal during flush with water at several flow rates	103
7.10	Thermograms from thermal gravimetric analysis of resin (at heating rate of 5 °C/min)	104