SURFANTANT RECOVERY FROM AQUEOUS PHASE USING A MULTI-STAGE FOAM FRACTIONATION

Ms. Nopparat Chuyingsakultip

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University
in Academic Partnership with
Case Western Reserve University, The University of Michigan,
The University of Oklahoma, and Institut Français du Pétrole
2004

ISBN 974-9651-31-6

Thesis Title:	Surfactant Recovery from Aqueous Phase using A Multi-Stage Foam Fractionation.
By:	Ms. Nopparat Chuyingsakultip
Program:	Petrochemical Technology
Thesis Advisors:	Assoc. Prof. Sumeath Chavadej Asst. Prof. Pomthong Malakul Prof. John F. Scamehorn

---

Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Science.

K. Bunyakiat. College Director

(Assoc. Prof. Kunchana Bunyakiat)

Thesis Committee:

John Scamehorn

(Prof. John F. Scamehorn)

Sumeath Chavadej

(Assoc. Prof. Sumeath Chavadej)

(Asst. Prof. Pomthong Malakul)

B. Kitiyanan

(Asst. Prof. Boonyarach Kitiyanan)

Pramoch R.

(Asst. Prof. Pramoch Rangsanvigit)

ABSTRACT

4571010063: PETROCHEMICAL TECHNOLOGY

Nopparat Chuyingsakultip: Surfactant Recovery from Aqueous Phase Using Multi-Stage Foam Fractionation.
Thesis Advisors: Assoc. Prof. Sumeath Chavadej, Asst. Prof. Pomthong Malakul and Prof. John F. Scamehorn, 55 pp.
ISBN 974-9651-31-6
Keywords: Foam Fractionation / Surfactant Recovery / Multi-Stage

Surfactants are widely used in many industries such as detergent, cosmetics and water treatment. As environmental regulations tightened, there is increasing concern about reducing the surfactant concentration in effluent streams. Foam fractionation is the direct and continuous treatment which would allow for the reuse of both water and surfactant. In this study, two multi-stage foam fractionators with different tray spacing were constructed and used in the recovery of cationic surfactant, CPC, from aqueous solution. Effects of several important variables, including surfactant feed concentration and flow rate, air flow rate, foam height, number of stages and feed position, were systematically studied. It can be seen from the results that increasing air flow rate and surfactant concentration resulted in lower enrichment ratio but higher % surfactant recovery. Effect of foam height on % surfactant recovery was not as significant as it was on the enrichment ratio. When increasing liquid feed flow rate, both enrichment ratio and % surfactant recovery decreased. On a contrary, increasing number of trays was found to enhance both enrichment ratio and recovery. Lastly, changing feed position was shown to have more impact on the column performance than changing the recycle ratio or tray spacing.

บทคัดย่อ

นพรัตน์ ชูยิ่งสกุลทิพย์: การนำสารลดแรงตึงผิวกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ Multistage Foam Fractionation Column (Surfactant Recovery from Aqueous Phase using Multi-Stage Foam Fractionation Column) อ. ที่ปรึกษา: รศ.ดร. สุเมธ ชวเดช, ผศ. ดร. ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยาและศ. จอห์น เอฟ สเกมาฮอร์น 55 หน้า ISBN 974-9651-31-6

ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำสารลดแรงตึงผิวมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย และเนื่องจากกฎหมายสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดมากขึ้นและมูลค่าของสารลดแรงตึงผิว ทำให้มีความสนใจเพิ่มมากขึ้นในการลดการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวไปกับน้ำทิ้ง โดยนำสารลดแรงตึงผิวกลับมาใช้ใหม่ การทำให้เกิดโฟมแบบลำดับส่วนเป็นกระบวนการแบบต่อเนื่องที่สามารถนำมาใช้เพื่อนำทั้งน้ำและสารลดแรงตึงผิวกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้สร้างคอลัมน์สำหรับการเกิดโฟมแบบลำดับส่วนขึ้นมา 2 คอลัมน์ ที่มีความสูงของชั้นแตกต่างกัน เพื่อใช้ในการนำสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกกลับมาใช้ใหม่จากสารละลายน้ำ และเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ต่อการแยกสารลดแรงตึงผิวออกมาจากสารละลายเริ่มต้น เช่น อัตราการไหลของอากาศและสารละลายตั้งต้น, ความสูงของโฟมในคอลัมน์, ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น, จำนวนของชั้น, สัดส่วนการรีไซเคิล และ ตำแหน่งของการป้อนเข้าคอลัมน์ ในแต่ละการทดลองอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวในโฟม และความสามารถในการนำสารลดแรงตึงผิวกลับมาใช้จะถูกคำนวณเพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงความสามารถและประสิทธิภาพของคอลัมน์ จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ทำให้ความสามารถในการนำสารลดแรงตึงผิวกลับมาใช้เพิ่มขึ้น แต่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวในโฟมลดลง ความสูงของโฟมในคอลัมน์มีผลกระทบน้อยต่อความสามารถในการนำสารลดแรงตึงผิวกลับมาใช้เมื่อเทียบกับอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวในโฟม เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายตั้งต้น พบว่าทั้งความสามารถในการนำสารลดแรงตึงผิวกลับมาใช้ และอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวในโฟมลดลง ในทางตรงกันข้าม การเพิ่มจำนวนชั้นมีผลให้ทั้งความสามารถในการนำสารลดแรงตึงผิวกลับมาใช้และอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวในโฟมเพิ่มขึ้น และท้ายสุดการเปลี่ยนตำแหน่งการป้อนสารละลายตั้งต้น มีผลต่อประสิทธิภาพของคอลัมน์มากกว่าการเปลี่ยนความกว้างของชั้นหรือสัดส่วนการรีไซเคิล

ACKNOWLEDGEMENTS

This work would not have been possible without the assistance of the following individuals.

First of all, I am deeply indebted to Professor John F. Scamehorn Assoc. Prof. Sumeath Chavadej and Asst. Prof. Pomthong Malakul, my thesis advisors, for providing useful recommendations, creative comments, and encouragement throughout the course of my work.

I would like to thank Asst. Prof. Pramoch Rangsunvigit and Asst. Prof. Boonyarach Kitiyanan for their kind advice and for being on the thesis committee.

This thesis work is partially funded by Postgraduate Education and Research Programs in Petroleum and Petrochemical Technology (PTT Consortium).

Special thanks go to all of the Petroleum and Petrochemical College's staff who helped with typing various reports.

Finally, the author would like to take this opportunity to thank PPC Ph.D. students and all my PPC friends for their friendly assistance, cheerfulness, creative suggestions, and encouragement. I had the most enjoyable time working with all of them. Also, I am greatly indebted to my parents and my family for their support, love and understanding.

TABLE OF CONTENTS

		PAGE
	Title Page	i
	Abstract (in English)	iii
	Abstract (in Thai)	iv
	Acknowledgements	v
	Table of Contents	vi
	List of Tables	viii
	List of Figures	ix
CHAPTER		
I	**INTRODUCTION**	1
II	**BACKGROUND AND LITERATURE SURVEY**	3
	2.1 Surfactants	3
	2.2 Foam	3
	2.2.1 Foam Formation	3
	2.2.2 Structure of Foam	4
	2.2.3 Foam Stability	5
	2.3 Foam Fractionation	8
	2.3.1 The Simple Mode	10
	2.3.2 The Higher Mode	10
III	**EXPERIMENTAL**	10
	3.1 Materials	11
	3.2 Experimental Setup	11
	3.3 Experimental Methods	13

CHAPTER PAGE

IV RESULTS AND DISCUSSION 15
4.1 Effect of Air Flow Rate 16
4.2 Effect of Foam Height 19
4.3 Effect of Liquid Feed Flow Rate 21
4.4 Effect of Feed Concentration 24
4.5 Effect of Number of Trays 24
4.6 Effect of Recycle Position and Recycle Ratio 26
4.7 Effect of Tray Spacing 28

V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS 35

REFERENCES 37

CURRICULUM VITAE 39

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
3.1	Chemical properties of the studied surfactants	11
3.2	Dimensions of the multi-stage foam fractionation column	12
3.3	Operating parameters	14
4.1	Influence of Recycle Feed and Feed position	26
4.2	Effect of Recycle at Various Ratios on Surfactant Recovery and Enrichment Ratio	27

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
2.1	Formation of foam.	4
2.2	The structure of foam.	4
2.3	The marangoni effect and gibbs film elasticity.	7
2.4	Gas bubble.	8
3.1	Multi-stage foam fractionation column.	12
4.1	The surfactant concentration measured in each tray versus time.	15
4.2	The effect of superficial air velocity under the base case conditions and at [CPC] = 0.25 CMC.	17
4.3	The effect of superficial air velocity under the base case conditions and at [CPC] = 0.5 CMC.	17
4.4	The effect of superficial air velocity under the base case conditions and at [CPC] = 0.75 CMC.	18
4.5	The effect of superficial air velocity under the base case conditions and at [CPC] = 1 CMC.	18
4.6	The effect of foam height on surfactant recovery and enrichment ratio and at [CPC] = 0.5 CMC.	19
4.7	The effect of foam height on surfactant recovery and enrichment ratio and at [CPC] = 0.75 CMC.	20
4.8	The effect of foam height on surfactant recovery and enrichment ratio and at [CPC] = 1 CMC.	20
4.9	The effect of liquid feed flow rate under the base case conditions and at [CPC] = 0.25 CMC.	21
4.10	The effect of liquid feed flow rate under the base case conditions and at [CPC] = 0.5 CMC.	22
4.11	The effect of liquid feed flow rate under the base case conditions and at [CPC] = 0.75 CMC.	22
4.12	The effect of liquid feed flow rate under the base case conditions and at [CPC] = 1 CMC.	23

FIGURE **PAGE**

4.13 Influence of influent concentration. 25

4.14 Influence of Number of tray. 25

4.15(a) The effect of superficial air velocity under the base case conditions and at [CPC] = 0.5 CMC. 30

4.15(b) The effect of superficial air velocity under the base case conditions and at [CPC] = 0.5 CMC. 30

4.16(a) The effect of foam height on surfactant recovery and enrichment ratio and at [CPC] = 0.75 CMC. 31

4.16(b) The effect of foam height on surfactant recovery and enrichment ratio and at [CPC] = 0.75 CMC. 31

4.17 (a) The effect of liquid feed flow rate under the base case conditions and at [CPC] = 0.75 CMC. 32

4.17 (b) The effect of liquid feed flow rate under the base case conditions and at [CPC] = 0.75 CMC. 32

4.18 (a) Influence of influent concentration. 33

4.18 (b) Influence of influent concentration. 33

4.19 (a) Influence of Number of tray. 34

4.19 (b) Influence of Number of tray. 34