

**SURFACTANT RECOVERY FROM WATER USING A MULTISTAGE  
FOAM FRACTIONATOR**



Ms. Savanit Boonyasuwat

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

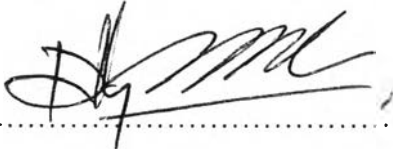
2008

511980


**Thesis Title :** Surfactant Recovery from Water Using Multistage Foam Fractionator  
**By :** Ms. Savanit Boonyasuwat  
**Program :** Petrochemical Technology  
**Thesis Advisors :** Assoc. Prof. Sumaeth Chavadej  
Asst. Prof. Pomthong Malakul  
Prof. John F. Scamehorn

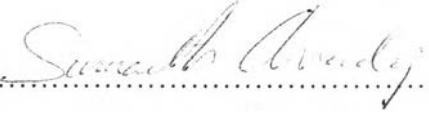
---


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


  
..... College Director  
(Asst. Prof. Pomthong Malakul)

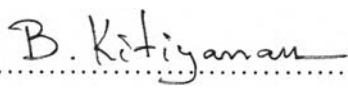
**Thesis Committee :**


  
.....  
(Prof. Somchai Osuwan)

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

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

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

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

  
.....  
(Dr. Thawach Chatchupong)

## ABSTRACT

4191003063 : PETROCHEMICAL TECHNOLOGY PROGRAM

Savanit Boonyasuwat : Surfactant Recovery from Water Using a  
Multistage Foam Fractionator

Thesis Advisors : Assoc. Prof. Sumaeth Chavadej, Asst. Prof.  
Pomthong Malakul, Prof. John F. Scamehorn, 92 pp.

Keywords : Surfactant Recovery/ Surfactant Separation/ Foam Fractionation

The purpose of this research was to investigate the recovery of surfactants from water using a multistage foam fractionation process. The study was divided into two parts. In the first part, the effects of various operational parameters on the recovery of a cationic surfactant (cetylpyridinium chloride or CPC) were investigated. In the second part, the recovery of three different types of surfactants: cationic (CPC), anionic (sodium dodecyl sulfate, SDS) and nonionic (polyoxyethylene sorbitan monolaurate, Span80) was studied under various conditions. The performance of the multistage foam fractionator was reported in terms of enrichment ratio and surfactant removal fraction. The results obtained from the first part of the study clearly showed that CPC was recovered from water by the multistage foam fractionator used in this study much more effectively when compared to the single-stage foam fractionator. For the multistage foam fractionator, both enrichment ratio and surfactant removal fraction increased with increasing feed flow rate, foam height, and number of stages whereas they decreased with increasing surfactant feed concentration and air flow rate. In the second part of the study, CPC, the cationic surfactant, was found to be removed from water by the multistage foam fractionator much more effectively than SDS and Span80 which appears to be related to the foamability and foam stability of the surfactant. When comparing among the three surfactants studied, both foamability and foam stability of the CPC system were the lowest due to the lower repulsive force between pyridinium groups.

## บทคัดย่อ

สวณิตย์ บุญญาสุวัฒน์ : การนำสารลดแรงตึงผิวจากน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้คอลัมน์แยกฟองแบบลำดับส่วน (Surfactant Recovery from Water Using a Multistage Foam Fractionator) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สุเมธ ชวเดช, ผศ. ดร. ปมทอง มาลากุล และ ศ. ดร. จอห์น เอฟ สเกมาซอน, 92 หน้า

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการนำสารลดแรงตึงผิวกลับมาใช้ใหม่โดยวิธีแยกฟองลำดับส่วนแบบหลายชั้น ในการศึกษาที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการศึกษาปัจจัยการควบคุมที่มีผลกระทบต่อ การนำกลับมาใช้ของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก หรือ cetylpyridinium chloride (CPC) ในส่วนที่สองเป็นการศึกษาความสามารถในการนำสารลดแรงตึงผิวประจุบวก (CPC) ประจุลบ หรือ sodium dodecyl sulfate (SDS) และไริ่ประจุ หรือ polyoxyethylene sorbitan monolaurate (Span80) กลับมาใช้ใหม่ โดยประสิทธิภาพของการแยกฟองลำดับส่วนแบบหลายชั้นได้รายงานในรูปของอัตราส่วนของความเข้มข้น (Enrichment Ratio) และสัดส่วนการแยก (Removal Fraction)

ผลการศึกษาในส่วนแรกแสดงค่าให้เห็นชัดว่า การแยกสารลดแรงตึงผิวประจุบวก หรือ cetylpyridinium chloride (CPC) จากน้ำกลับมาใช้ใหม่โดยระบบแยกฟองลำดับส่วนแบบหลายชั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบแยกฟองลำดับส่วนแบบชั้นเดียว สำหรับแบบแยกฟองลำดับส่วนแบบหลายชั้นพบว่าอัตราส่วนความเข้มข้น และสัดส่วนการแยกเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้า ความสูงของฟอง และจำนวนชั้นของระบบเพิ่มสูงขึ้น แต่จะให้ผลในทางกลับกันกับการเพิ่มความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวในน้ำที่ป้อนเข้า และอากาศที่ถูกเป่าเข้าคอลัมน์ ผลการศึกษาในส่วนที่สอง พบว่าระบบแยกฟองลำดับส่วนแบบหลายชั้นมีประสิทธิภาพการแยกสารลดแรงตึงผิวประจุบวกสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสารลดแรงตึงผิวไริ่ประจุ และประจุลบ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวเกี่ยวข้องกับความสามารถในการเกิดฟอง และเสถียรภาพของฟอง เมื่อเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวสามชนิด พบว่าความสามารถในการเกิดฟอง และเสถียรภาพของฟองของสารลดแรงตึงผิวประจุลบมีค่าต่ำที่สุดทั้งนี้เนื่องจากแรงผลักระหว่าง pyridinium groups ที่มีค่าต่ำที่สุด

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work cannot be successful without the participation of the following individuals and organizations.

I would like to express my deepest appreciation to my thesis advisors, Assoc. Prof. Sumaeth Chavadej, Assist. Prof. Pomthong Malakul, Prof. John F. Scamehorn, for all of their special guidance and assistance while I was conducting my research. Assoc. Prof. Sumaeth Chavadej has taught me both the skills to do the research and how to succeed in my life.

I would also like to give special thanks to Assist. Prof. Pomthong Malakul for his valuable suggestion and comments.

I would like to take this opportunity to thank staff of the Petroleum and Petrochemical College, who help me set up experimental instrument and gave me a helpful hand constantly especially about my column.

This thesis work is also funded by The Petroleum and Petrochemical College; and the National Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials, Chulalongkorn University, Thailand.

Finally, special thanks are forwarded to my family especially my father for supporting my scholarship and opportunity to study for Ph.D.

## TABLE OF CONTENTS

	<b>PAGE</b>
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
<b>CHAPTER</b>	
<b>I INTRODUCTION</b>	1
<b>II THEORETICAL BACKGROUNDS AND LITERATURE SURVEY</b>	4
<b>III EXPERIMENTAL</b>	14
<b>IV SURFACTANT RECOVERY FROM WATER USING MULTISTAGE FOAM FRACTIONATOR : EFFECTS OF OPERATIONAL PARAMETERS</b>	17
4.1 Abstract	17
4.2 Introduction	17
4.3 Experimental	20
4.4 Results and Discussion	23
4.4.1 Foam Ability and Foam Stability	26
4.4.2 Effect of Air Flow Rate	27
4.4.3 Effect of Foam Height	29
4.4.4 Effect of Liquid Feed Flow Rate	32
4.4.5 Effect of Feed Concentration	33
4.4.6 Effect of Number of Stages	35

	<b>PAGE</b>
4.5 Conclusions	39
4.6 Acknowledgement	40
4.6 References	40
<b>V SURFACTANT RECOVERY FROM WATER USING MULTISTAGE FOAM FRACTIONATOR : EFFECT OF SURFACTANT TYPE</b>	43
5.1 Abstract	43
5.2 Introduction	43
5.3 Experimental	45
5.4 Calculations	48
5.5 Results and Discussion	49
5.5.1 Operational Zones	49
5.5.2 Foam Characteristics	50
5.5.3 Effect of Air Flow Rate	52
5.5.4 Effect of Foam Height	54
5.5.5 Effect of Feed Concentration	54
5.5.6 Effect of Number of Stages	59
5.6 Conclusions	61
5.7 References	61
<b>VI CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS</b>	64
<b>REFERENCES</b>	66
<b>APPENDICES</b>	
<b>APPENDIX A : Raw Data</b>	67

	<b>PAGE</b>
<b>APPENDIX B : Anionic and Cationic Surfactant Recovery from Water Using a Multistage Foam Fractionator</b>	71
<b>CURRICULUM VITAE</b>	91



**LIST OF TABLES**

<b>TABLE</b>		<b>PAGE</b>
<b>CHAPTER IV</b>		
4.1	Experimental results for all foam fractionation runs (using 3 stages)	32
4.2	Interstage CPC concentration at feed flow rate of 50 mL/min, feed concentration of 50% of CMC (0.161 g/L)	39

## LIST OF FIGURES

<b>FIGURE</b>		<b>PAGE</b>
<b>CHAPTER I</b>		
1.1	Principle of foam fractionation	2
1.2	Two types of foam fractionation separating column	3
<b>CHAPTER II</b>		
2.1	Schematic of a surfactant molecule	4
2.2	Formation of foam (Rosen, 1988)	6
2.3	The structure of liquid foam (Rosen, 1988, Weaire, 2002)	7
2.4	Schematic of foam (Rosen, 1988)	7
2.5	Stretch portion of foam lamella, illustrating mechanism of film elasticity	9
2.6	Marangoni effect and Gibbs film elasticity	9
2.7	Liquid drainage in lamellae by curvature effect	10
<b>CHAPTER III</b>		
3.1	Schematic of experimental multistage foam fractionation system	16
<b>CHAPTER IV</b>		
4.1	Diagram of multistage foam fractionation column with 3 trays	21
4.2	Schematic diagram of experimental multistage foam fractionation system	21
4.3	Minimum air flow rate required for foam production at different foam heights	24
4.4	The maximum liquid feed flow rate corresponding to liquid flooding at different stage numbers and different air flow rates	25
4.5	Flooding point and operating zone of the foam fractionation column	25
4.6	Foam height as a function of time (Foamability)	26
4.7	Foam height as a function of time after air flow discontinued	27

<b>FIGURE</b>		<b>PAGE</b>
4.8	The effect of air flow rate on enrichment ratio and removal fraction of surfactant at a foam height of 60 cm and different feed concentrations	29
4.9	The effect of foam height on enrichment ratio and removal fraction of surfactant at an air flow rate of 50 L/min and different feed concentrations	31
4.10	The effect of feed flow rate on enrichment ratio and removal fraction of surfactant at a foam height of 60 cm and different feed concentrations	33
4.11	The effect of surfactant influent concentration on enrichment ratio and removal fraction of surfactant at different feed flow rates	35
4.12	The effect of number of stage on enrichment ratio and removal fraction of CPC at different feed concentrations	37
4.13	The effect of number of stage on enrichment ratio and removal fraction of CPC at different foam height	38

## **CHAPTER V**

5.1	Schematic of experimental multistage foam fractionation system	48
5.2	Flooding points and operating zones of the multi-stage foam fractionation column for the three surfactants operated at a surfactant concentration = 50% of CMC, foam height = 60 cm, and number of stages = 3	50
5.3	Foamability and foam stability of the three surfactants (initial surfactant concentration = 50% of CMC)	52
5.4	Effect of air flow rate on separation efficiency of the three surfactants (feed flow rate = 20 ml/min; foam height = 60 cm; surfactant feed concentration = 50% of CMC; and, number of trays = 3)	56

<b>FIGURE</b>		<b>PAGE</b>
5.5	Effect of foam height on separation efficiency of the three surfactants (air flow rate = 50 l/min; feed flow rate = 20 ml/min; surfactant feed concentration = 50% of CMC; and, number of trays = 3)	57
5.6	Effect of influent surfactant concentration on separation efficiency of the three surfactants (air flow rate = 50 l/min; feed flow rate = 20 ml/min; foam height = 60 cm; and, number of trays = 3)	58
5.7	Effect of number of stage on separation efficiency of the three surfactants (air flow rate = 50 l/min; feed flow rate = 20 ml/min; foam height = 60 cm; and, surfactant feed concentration = 50% of CMC)	60