

**FOAM STABILITY TEST FOR SURFACTANTS IN ENHANCED OIL
RECOVERY**

Vipada Sansen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University
in Academic Partnership with
The University of Michigan, The University of Oklahoma,
Case Western Reserve University, and Institut Français du Pétrole
2015


I28368575

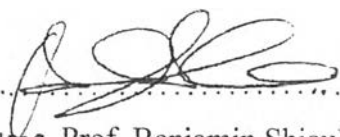
Thesis Title: Foam Stability Test for Surfactants in Enhanced Oil Recovery
By: Vipada Sansen
Program: Petroleum Technology
Thesis Advisors: Dr. Uthaiporn Suriyaphadilok
Assoc. Prof. Benjamin Shiau
Dr. Ampira Chareonsang


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


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


Thesis Committee:


.....
(Dr. Uthaiporn Suriyaphadilok)


.....
(Assoc. Prof. Benjamin Shiau)


.....
(Dr. Ampira Chareonsang)


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


.....
(Asst. Prof. Siripon Anantawaraskul)

ABSTRACT

5673032063: Petroleum Technology Program

Vipada Sansen: Foam Stability Test for Surfactants in Enhanced Oil Recovery.

Thesis Advisors: Dr. Uthaiporn Suriyapraphadilok,

Assoc. Prof. Benjamin Shiau, and Dr. Ampira Chareonsang 55 pp.

Keywords: Foam/ Foam stability/ Surfactant/ EOR

One challenge of foam application for enhanced oil recovery is the stability of foam when it is in contact with oil in the reservoir. This research studied the effect of surfactant structures, concentrations, brine, alkanes and the improvement on foam stability. Surfactants with different structure were evaluated using a shaking technique to firstly screen the appropriate structure that can create stable foam. Then, the rest of experiment was performed by purging a fixed gas flow gas through a certain amount of solution. Foam height was measured as a function of time. Six surfactants were used in this experiment. The results show that anionic surfactants gave better foam stability than nonionic surfactant. The anionic surfactant with shorter carbon chain length also generated better foam stability compared to anionic surfactants with longer carbon chain. Four surfactants that gave the best foam stability were chosen to study the effect of concentration. The higher concentration also increased foam stability but the foam tended to decrease when the concentration went beyond the optimum concentration. For the effect of different alkanes, the results showed that adding alkanes tended to destabilize the foam stability and alkanes with longer carbon chain gave foam more stable compared to shorter carbon chain. For the effect of brine, foam collapsed rapidly. To improve foam stability, adding co-surfactant also helped to improve foam stability in brine and co-solvent also enhanced the foam stability in the presence of alkane.

บทคัดย่อ

วิภาดา แสนเสน : การวัดเสถียรภาพของโฟมที่ใช้ในการผลิตน้ำมันชั้นตติยภูมิ (Foam Stability Test for Surfactants in Enhanced Oil Recovery) อ.ที่ปรึกษา : ดร. อุทัยพร สุริย-
ประภาคิลกร ศ. ดร. เบนจามิน เขา และ ดร. อัมพิกา เจริญแสง 55 หน้า

หนึ่งในความท้าทายของการประยุกต์ใช้โฟมสำหรับการผลิตน้ำมันชั้นตติยภูมิ คือความเสถียรภาพของโฟมเมื่อโฟมสัมผัสกับน้ำมันและสภาวะที่รุนแรงในหลุมน้ำมัน งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลของโครงสร้างและปริมาณที่แตกต่างกันของสารลดแรงตึงผิว น้ำเกลือ แอลเคน ต่อการเพิ่มเสถียรภาพของโฟม การศึกษาผลกระทบของโครงสร้างที่แตกต่างกันของสารลดแรงตึงผิวใช้วิธีการเขย่าสารละลาย เพื่อเป็นการคัดเลือกสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมในขั้นต้น เมื่อได้สารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมแล้ว การศึกษาในส่วนต่อไปดำเนินการ โดยการปล่อยก๊าซปริมาณคงที่ผ่านสารละลายลดแรงตึงผิวในคอลัมน์แก้วเพื่อทำให้เกิดโฟม การวัดความเสถียรของโฟมทำได้โดยการวัดความสูงของโฟมที่ลดลงเทียบกับเวลา ในการศึกษานี้ได้ใช้สารลดแรงตึงผิวหกชนิด ผลการทดลองพบว่า สารลดแรงตึงผิวประจุลบให้โฟมที่เสถียรภาพดีกว่าสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุและสารลดแรงตึงผิวประจุลบที่มีความยาวโซ่คาร์บอนสั้นให้โฟมที่มีเสถียรภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับสารลดแรงตึงผิวประจุลบที่มีโซ่คาร์บอนยาวกว่า ผลจากการทดลองนี้ได้เลือกสารลดแรงตึงผิวสี่ชนิดที่ให้โฟมที่มีเสถียรภาพที่ดีไปศึกษาผลของความเข้มข้น พบว่า ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวที่สูงขึ้นได้เพิ่มความมีเสถียรภาพของโฟม แต่มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มสูงเกินกว่าความเข้มข้นที่เหมาะสม สำหรับผลกระทบของแอลเคน พบว่าการเติมแอลเคนมีแนวโน้มทำให้โฟมมีเสถียรภาพลดลงและแอลเคนที่มีสายโซ่คาร์บอนที่ยาวกว่า มีแนวโน้มที่จะทำลายเสถียรภาพของโฟมน้อยกว่า ในการปรับปรุงเสถียรภาพโฟมโดยการเติมตัวช่วยสารลดแรงตึงผิวร่วมช่วยในการปรับปรุงความเสถียรของโฟมในน้ำเค็ม และการเติมตัวทำละลายร่วมช่วยปรับปรุงเสถียรภาพของโฟมในแอลเคนเช่นกัน

ACKNOWLEDGEMENTS

First of all, I would like to express my deepest appreciation to my advisor, Dr. Uthaiporn Suriyaphadilok, Dr. Ampira Chareonsang and Assoc. Prof. Benjamin Shiau for their help, encouragement, and understanding throughout this research. Their support contributed significantly to inspire and maintain my enthusiasm throughout the whole period.

I would like to thank Asst. Prof. Boonyarach Kittiyanan and Asst. Prof. Siripon Anantawaraskul for kindly serving on my thesis committee. Their sincere suggestions are definitely imperative for accomplishing my thesis.

This thesis work was partially supported by the Ratchadapisek Sompoch Endowment Fund (2013), Chulalongkorn University (CU-56-900-FC) and Thailand Research Fund (IRG5780012)

I would like to thank the Shell Chemicals, Amsterdam, The Netherlands for the support of surfactants.

My gratitude is also extended to all staffs of The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, for their kind assistance and cooperation.

Finally, I would really like to express my sincere gratitude to my whole family, especially my parents.

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 THEORETICAL BACKGROUND AND LITERATURE REVIEW	 3
2.1 Enhanced Oil Recovery (EOR)	3
2.2 Foam	6
2.2.1 Surfactant	6
2.2.2 Type of Surfactants	7
2.2.3 Micelle	8
2.3 Foam Stability	9
 III EXPERIMENTAL	 22
3.1 Materials and Equipment	22
3.2 Experimental Procedure	23
3.2.1 Critical Micelle Concentration Measurement	23
3.2.2 Surfactant Solution Preparation	23
3.2.3 Foam Stability Test	23

CHAPTER	PAGE
IV RESULTS AND DISCUSSION	26
4.1 Abstract	26
4.2 Introduction	27
4.3 Experimental	28
4.3.1 Material	28
4.3.2 Experimental Approach	29
4.4 Results and Discussion	30
4.4.1 The Effect of Surfactant Structure	30
4.4.2 The Effect of Concentration	31
4.4.3 The Effect of Alkanes and Brine	35
4.4.4 The Effect of Co-solvent and Co-surfactant to Foam Stability Improvement	38
4.5 Reference	41
V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	43
5.1 Conclusion	43
5.2 Recommendations	44
REFERENCES	45
APPENDICES	48
Appendix A Calculation for Concentration of Surfactant Solution	48
Appendix B Critical Micelle Concentration (CMC) Measurement at 25 ± 2 °C	49
Appendix C Repeatability of Foam Stability Measurement	53

CHAPTER

PAGE

CURRICULUM VITAE

55

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
2.1	Properties of the surfactants used in the work	14
2.2	Summary of various surfactant structures	19
2.3	Summary of surfactants that give the most stable foam in the presence of oil in each work	20
4.1	Summary of the CMCs for all surfactants at room temperature 25 ± 2 °C	32

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
2.1	Illustration of carbon dioxide and water used to flush residual oil in reservoir.	4
2.2	Supercritical CO ₂ -EOR conformance issue.	5
2.3	Supercritical CO ₂ -EOR mobility issues: (a) Poor area sweep, (b) Gas channelling, (c) Gravity override.	5
2.4	A generalized foam system.	6
2.5	Surfactant molecules in a foam lamella. This size of the surfactant molecules compared to the lamella is not reasonable just for the purpose of illustration.	7
2.6	Surface tension with increase of concentration solution and micelle formation.	8
2.7	The schematic of foam stability apparatus.	10
2.8	Vertical sectional view of the foam test apparatus used in the measurement.	11
2.9	Illustration of height measurement at several times to determine the novel foam stability parameters. At $t = -0$ denotes as a condition before introducing gas. $t = +0$ denotes as heights of foam and solution after introducing air. And $t = t$ is foam height during foam decay.	12
2.10	Schematic of foam column set-up used to screen surfactant. Gas is purged through the surfactant solution to create foam in a glass column.	15
2.11	Schematic of Foamscan set-up. Camera is set to determine the foam volume and conductivity data will give liquid volume in the foam structure.	16
3.1	Schematic of foam column apparatus.	24
3.2	Procedure diagram of this study.	25

FIGURE	PAGE
4.1 The structure of surfactant: a) Internal olefin sulfonate b) Alcohol alkoxy sulfate c) Sodium dodecyl benzene sulfonate d) TWEEN 80 e) Alcohol ethoxylate.	29
4.2 Schematic of foam column equipment.	30
4.3 Foam stability measurement by shaking method for all surfactants.	31
4.4 Foam stability measurement by a column test of C15-18 IOS at different concentrations.	33
4.5 Foam stability measurement by a column test of C19-23 IOS at different concentrations.	33
4.6 Foam stability measurement by a column test of AAS at different concentrations.	34
4.7 Foam stability measurement by a column test of SDBS at different concentrations.	34
4.8 Foam stability measurement by a column test of C15-18 IOS in the presence of alkanes at C15-18 IOS concentration of 0.04 wt.%.	36
4.9 Foam stability measurement by A column test of SDBS in the presence of alkanes at SDBS concentration of 0.08 wt.%.	36
4.10 Solubilization of alkane molecule in micelles.	37
4.11 Foam stability measurement by a column test of C15-18 IOS and SDBS in 5 wt.% and 10 wt.% brine concentration. The concentrations of C15-18 IOS and SDBS were 0.04 wt.% and 0.08 wt.% respectively.	37
4.12 Effect of adding dodecanol and alcohol ethoxylated with 5EO (AE-5EO) on foam stability measurement of C15-18 IOS at 0.04 wt.% in the presence of n-hexadecane.	38

FIGURE		PAGE
4.13	Effect of adding dodecanol, TWEEN 80 and 5EO on foam stability measurement of SDBS in the presence of n-hexadecane.	39
4.14	Effect of adding 5EO and TWEEN 80 on foam stability of C15-18 IOS solution in 10 wt.% brine concentration.	40
4.15	Effect of adding 5EO and TWEEN 80 on foam stability measurement of SDBS in 10 wt.% brine concentration.	41
B1	CMC of C15-18 internal olefin sulfonate at 25 ± 2 °C.	49
B2	CMC of C19-23 internal olefin sulphonate at 25 ± 2 °C.	50
B3	CMC of C16-17 alcohol alkoxy sulfate with 7PO at 25 ± 2 °C.	51
B4	CMC of Sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) at 25 ± 2 °C.	52
C1	Repeatability of C15-18 IOS foam stability measurement.	53
C2	Repeatability of C19-23 IOS foam stability measurement.	53
C3	Repeatability of AAS foam stability measurement.	54