

# MECHANISTIC STUDIES OF PARTICULATE SOIL DETERGENCY



Sureporn Rojvoranun

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


2012

551747

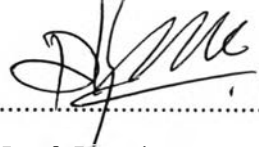
**Thesis Title:** Mechanistic Studies of Particulate Soil Detergency  
**By:** Sureeporn Rojvoranun  
**Program:** Petrochemical Technology  
**Thesis Advisors:** Prof. Sumaeth Chavadej  
Prof. John F. Scamehorn  
Prof. David A. Sabatini

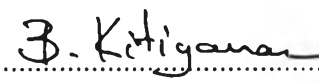
---

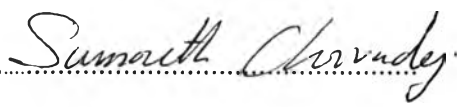
Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.

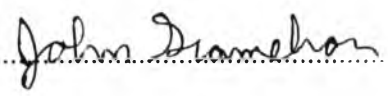
  
..... College Dean  
(Asst. Prof. Pomthong Malakul)

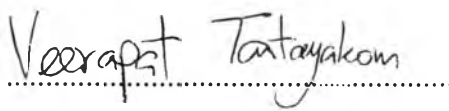
**Thesis Committee:**

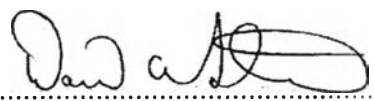
  
.....  
(Asst. Prof. Pomthong Malakul)

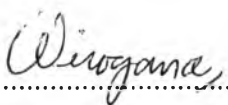
  
.....  
(Asst. Prof. Boonyarach Kitiyanan)

  
.....  
(Prof. Sumaeth Chavadej)

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

  
.....  
(Dr. Veerapat Tantayakom)

  
.....  
(Prof. David A. Sabatini)

  
.....  
(Asst. Prof. Wirogana Reungphrathuengsuka)

## ABSTRACT

5081005063: Petrochemical Technology

Sureeporn Rojvoranun: Mechanistic Studies of Particulate Soil

Detergency

Thesis Advisors: Prof. Sumaeth Chavadej, Prof. John F. Scamehorn  
and Prof. David A. Sabatini 155 pp.

Keywords: Detergency/ Particulate Soil/ Anionic Surfactant/ Nonionic  
Surfactant/ Cationic Surfactant

The ultimate objective of this research was to investigate the mechanisms of particulate soil removal in an aqueous single surfactant system. In this work, three particulate soils—hydrophobic particulate soil (carbon black) and two hydrophilic particulate soils (ferric oxide and kaolinite) and five surfactants—anionic surfactants; sodium dodecyl sulfate (SDS), methyl ester sulfonate (MES) and linear alkyl benzene sulfonate (LAS), nonionic surfactant; octyl phenol ethoxylate with an average of 10 ethylene oxides per molecule (OP(EO)10—tradename Triton X-100), and cationic surfactant; cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB) were used. The correlations between zeta potential, surfactant adsorption, contact angle, and solid/liquid spreading pressure to detergency performance and antiredeposition over the range of surfactant concentrations at different pH levels were used to reveal the mechanisms of particulate soil detergency. In all cases, detergency was found to improve with increasing solution pH of washing solutions and the maximum detergency performance was found at pH 11. The results of both hydrophobic soil (carbon black) and hydrophilic soils (ferric oxide and kaolinite) showed that the electrostatic repulsion between fabric and soil particles was the primary mechanism responsible for the particulate soil removal. In comparisons among three studied surfactants (SDS, OP(EO)10 and CTAB), SDS provided the best detergency performance followed by OP(EO)10 and CTAB, in which the adsorption of SDS to the negatively charged fabrics and particulate soils, yielding higher negative electrical potentials. For the nonionic surfactant (OP(EO)10), the adsorption of OP(EO)10 caused the

surface of fabrics and soils to be more negatively charged, and the steric repulsion was found to aid detergency. For the cationic surfactant (CTAB), CTAB strongly adsorbed to the negatively charged fabrics and soils, resulting in charge reversal, poor rinseability and lowest detergency. Additionally, the IFT reduction due to CTAB adsorption was found to aid particulate soil detergency. From the SEM images, all of the studied particulate soils were found to stay on the studied fabrics and no entrapment between the fabric yarns.

The performance of methyl ester sulfonate (MES) on both hydrophobic soil (carbon black) and hydrophilic soils (ferric oxide and kaolinite) removal was also studied and compared to SDS (the isomerically pure surfactant) and LAS (the workhorse surfactant used in most detergent products). The results showed that MES exhibited the best detergency performance, corresponding to the highest adsorption, resulting in the highest electrostatic repulsion. The highest MES adsorption results from its long hydrophobic tail length with the smallest head group as compared to the other two anionic surfactants.

## บทคัดย่อ

สุริย์พร โรจน์วรรณันท์: การศึกษากลไกการชักล้างขจัดคราบสกปรกอนุภาค (Mechanistic Studies of Particulate Soil Detergency) อ. ที่ปรึกษา: ศ.ดร. สุเมธ ชวเวช ศ.ดร. จอห์น เอฟ สแกมมัสออร์น และ ศ.ดร. เดวิด เอ สบาตินี 155 หน้า

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการศึกษากลไกการขจัดคราบอนุภาคในระบบสารลดแรงตึงผิวชนิดเดียว ในการศึกษานี้อนุภาคสามชนิดถูกนำมาศึกษา ได้แก่ อนุภาคที่ไม่ชอบน้ำ (คาร์บอนแบล็ก) และอนุภาคที่ชอบน้ำสองชนิด (เหล็กออกไซด์และคาโอลิไนท์) สารลดแรงตึงผิวที่ถูกนำมาศึกษา 5 ชนิด ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (โซเดียมโคเคทซิลซัลเฟตหรือเอสดีเอส เมทิลเอสเทอร์ซัลโฟเนตหรือเอ็มอีเอส และลิเนียร์แอลคิลเบนซีนซัลโฟเนตหรือแอลเอเอส) สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (ออกทิลฟีนอลอีท็อกซิเลทโดยมีส่วนที่เป็นเอทิลีนออกไซด์เฉลี่ย 10 กลุ่มต่อหนึ่งโมเลกุลหรือโอพีอีโอเท็น มีชื่อเรียกทางการค้าว่า ไทรทอนเอ็กซ์ 100) และสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (ซีเทป) ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ซีตา มุมสัมผัส และความดันแพร่ระหว่างผิวของแข็งและน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพในการชักล้างและการต่อต้านการเกาะกลับที่ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวต่างๆและที่ค่าความเป็นกรดต่างต่างๆถูกใช้เพื่อเปิดเผยกลไกการชักล้างขจัดคราบอนุภาค ในทุกกรณีพบว่า การชักล้างมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดต่างในสารละลายทำความสะอาดเพิ่มสูงขึ้นและประสิทธิภาพการชักล้างสูงสุดที่ค่าความเป็นกรดต่าง 11 ผลการศึกษาของทั้งอนุภาคที่สกปรกที่ไม่ชอบน้ำ (คาร์บอนแบล็ก) และอนุภาคสกปรกที่ชอบน้ำ (เหล็กออกไซด์และคาโอลิไนท์) แสดงว่าแรงผลึกของประจุบนผิวผ้าและอนุภาคสกปรกเป็นปัจจัยสำคัญในการขจัดอนุภาคสกปรก ในการเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวทั้งสามชนิด (เอสดีเอส โอพีอีโอเท็น และซีเทป) พบว่าเอสดีเอสให้ประสิทธิภาพในการชักล้างสูงสุดตามด้วยโอพีอีโอเท็นและซีเทป ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการดูดซับของเอสดีเอสบนพื้นผิวผ้าและอนุภาคสกปรกไปช่วยเพิ่มความเป็นลบของพื้นผิวทั้งสอง ในกรณีของโอพีอีโอเท็นการดูดซับของโอพีอีโอเท็นได้ช่วยเพิ่มประจุลบบนพื้นผิวและจากแรงผลึกเนื่องจากโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุมีส่วนช่วยการชักล้าง ในส่วนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (ซีเทป) มีการดูดซับอย่างสูงบนผิวผ้าและอนุภาคสกปรกที่มีประจุลบ ส่งผลให้ประจุกลับ การล้างไม่ดีและประสิทธิภาพในการชักล้างต่ำสุด จากภาพถ่ายกล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงว่าอนุภาคสกปรกติดอยู่บนพื้นผิวผ้าและไม่ได้ถูกคักไว้ในช่องว่างระหว่างเส้นด้ายของผ้า

ในงานวิจัยนี้ยังศึกษาประสิทธิภาพของเมทิลเอสเทอร์ซัลโฟเนต (เอ็มอีเอส) ในการจัดอนุภาคสกปรกแบบที่ไม่ชอบน้ำ (คาร์บอนแบล็ก) และที่ชอบน้ำ (เหล็กออกไซด์และคาโอลิไนท์) และเปรียบเทียบกับเอสดีเอส (สารลดแรงตึงผิวที่บริสุทธิ์) และแอลเอส (สารลดแรงตึงผิวที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งใช้ทั่วไปในผลิตภัณฑ์สารลดแรงตึงผิว) ผลการทดลองพบว่าเอ็มอีเอสให้ประสิทธิภาพในการซักล้างดีที่สุดซึ่งสอดคล้องกับการดูดซับที่สูงที่สุดจึงส่งผลทำให้มีแรงผลักไฟฟ้าที่สูงสุด การดูดซับสูงสุดของเอ็มอีเอสเนื่องมาจากที่มีหางยาวที่สุดและมีหัวที่เล็กที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวชนิดลบอีกสองชนิด

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research would not have been success without the assistance of the following individuals and organizations. The author would like to acknowledge all of them for their support throughout this work.

First of all, I utmost appreciation is expressed to all of my advisors, Prof. Sumaeth Chavadej as a Thai thesis advisor, Prof. John F. Scamehorn and Prof. David A. Sabatini as oversea advisors for many valuable suggestions, discussions, encouragement, and support throughout the course of this research. The guidance is not only the academic field but also the way of life, which brought me to be a better person.

The Royal Golden Jubilee Ph.D. Program (RGJ) under The Thailand Research Fund and the PTT Global Chemical Public Company Limited are greatly acknowledged for providing a Ph.D. scholarship to the author, and a partially financial support, respectively. Moreover, the Petroleum and Petrochemical College and the Center of Excellence on Petrochemical and Materials Technology, Thailand are greatly acknowledged.

I wish to extend my deep thanks to all of my worthy friends, my respectful senior and my lovely junior at The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University and The University of Oklahoma for their kind assistance and all those who willingly helped and encouraged me over the years of this study.

I would like to express my sincere gratitude to the faculties and staffs who contributed in various degrees to the success of my work.

Finally, my deepest appreciations of gratitude are dedicated to my family for their endless love, encouragement, supporting me throughout my study and understand me all the time.

## TABLE OF CONTENTS

	<b>PAGE</b>
Title Page	i
Abstract (in English)	iii
Abstract (in Thai)	v
Acknowledgements	vii
Table of Contents	viii
List of Figures	xiv
List of Tables	xvii
<b>CHAPTER</b>	
<b>I INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>II THEORETICAL BACKGROUND AND LITERATURE REVIEWS</b>	<b>5</b>
2.1 Surfactant structures	5
2.1.1 Anionic Surfactant	6
2.1.1.1 Sodium Dodecyl Sulphate (SDS)	6
2.1.1.2 Linear Alkyl Benzene Sulphonate (LAS)	7
2.1.1.3 Methyl Ester Sulfonate (MES)	7
2.1.2 Nonionic Surfactant	10
2.1.2.1 Octylphenol Ethoxylate	10
2.1.2.2 Alcohol Ethoxylates	11
2.1.3 Cationic Surfactant	12
2.1.3.1 Cetyltrimethylammoniumbromide (CTAB)	12
2.2 Surfactant Adsorption	12
2.2.1 Surfactant Adsorption on Hydrophobic Surface	16
2.2.2 Surfactant Adsorption on Hydrophilic Surfaces	17
2.2.3 Adsorption of Nonionic Surfactants	18



CHAPTER	PAGE
2.3 Zeta Potential	22
2.3.1 Point of Zero Charge (PZC)	23
2.4 Wetting Phenomena	25
2.4.1 Contact Angle	26
2.4.2 Surface Pressure	27
2.5 Types of Soils	28
2.5.1 Oily and Greasy Soils	28
2.5.2 Proteins and Starchy Soils	28
2.5.3 Particulate Soils	28
2.5.3.1 Carbon Black	29
2.5.3.2 Ferric Oxide	30
2.5.3.3 Kaolinite	30
2.6 Mechanisms of Particulate Soils Removal	32
2.7 Soil Redeposition	32
<b>III EXPERIMENTAL</b>	<b>33</b>
3.1 Materials	33
3.2 Experimental Methodology	34
3.2.1 Determination of Specific Surface Area	34
3.2.2 Point of Zero Charge (PZC) Measurement	34
3.2.3 Zeta Potential Experiment	34
3.2.4 Adsorption Isotherm Experiments	34
3.2.5 Dispersion Stability Measurement	35
3.2.6 Contact Angle Measurement	36
3.2.7 Surface Tension Measurement	36
3.2.8 Detergency Experiments	36
3.2.8.1 Fabric Preparation	36
3.2.8.2 Soiling Procedure	36
3.2.8.3 Laundry Procedure	37

CHAPTER	PAGE
3.2.8.4 Determination of Detergency Efficiency	37
3.2.9 Surface Morphology Examination	38
<b>IV    MECHANISTIC STUDIES OF PARTICULATE SOIL</b>	<b>39</b>
<b>         DETERGENCY:I: HYDROPHOBIC SOIL REMOVAL</b>	
4.1 Abstract	39
4.2 Introduction	40
4.3 Experimental Procedures	44
4.3.1 Materials	44
4.3.2 Adsorption Isotherm Experiment	44
4.3.3 Specific Surface Area Measurement	44
4.3.4 Zeta Potential Measurement	45
4.3.5 Fabric Pretreatment and Soiling Procedure	45
4.3.6 Laundry Procedure	45
4.3.7 Detergency Performance Evaluation	46
4.3.8 Contact Angle Measurement	46
4.3.9 Surface Tension Measurement	47
4.3.10 Scanning Electron Microscope (SEM) Photos	47
4.4 Results and Discussion	47
4.4.1 Surfactant Adsorption onto Fabrics and Carbon Black	47
4.4.2 Zeta Potentials and Point of Zero Charge of	53
Carbon Black and Fabrics	
4.4.2.1 Surfactant-Free Solutions	53
4.4.2.2 Zeta Potential of Carbon Black and	54
Fabrics in Surfactant Solutions	
4.4.3 Contact Angle and Surface Pressures of	55
Surfactant Solutions on Carbon Black and	
Fabrics	

CHAPTER	PAGE
4.4.4 Correlation among Surface Pressure at Solid/Liquid Interface, Maximum Adsorption, and Zeta Potential with Detergency at Plateau Concentration	56
4.4.4.1 Polyester	57
4.4.4.2 Cotton	59
4.4.5 Fiber Surface Morphology of the Cotton Fiber and Polyester Fiber	61
4.4.6 Summary of Detergency Mechanisms	62
4.5 Acknowledgements	63
4.6 References	63
<b>V MECHANISTIC STUDIES OF PARTICULATE SOIL DETERGENCY:II: HYDROPHILIC SOIL REMOVAL</b>	<b>68</b>
5.1 Abstract	68
5.2 Introduction	69
5.3 Experimental Procedures	72
5.3.1 Materials	72
5.3.2 Experimental	72
5.3.2.1 Dispersion Stability Measurements	72
5.3.2.2 Soiling Procedure	73
5.3.2.3 Quantitative Analysis of Kaolinite and Ferric Oxide Removal Using Digestion	73
5.4 Results and Discussion	74
5.4.1 Surfactant Adsorption Results	74
5.4.2 Zeta Potentials and Point of Zero Charge	83
5.4.2.1 Surfactant-Free Solutions	83
5.4.2.2 Zeta Potential in Surfactant Solution	84
5.4.3 Dispersion Stability	85

CHAPTER	PAGE
5.4.4 Contact Angle and Solid/Liquid Surface Pressures of Surfactant Solutions	86
5.4.5 Correlation among Surface Pressure at Solid/Liquid Interface, Maximum Adsorption, and Zeta Potential with Detergency at Plateau Concentration	87
5.4.5.1 Polyester	88
5.4.5.2 Cotton	91
5.4.6 Comparison between Quantitative and Qualitative Analysis for Ferric Oxide	92
5.4.7 Fiber Surface Morphology of Soiled Fabrics	93
5.5 Summary of Detergency Mechanisms	94
5.6 Acknowledgements	95
5.7 References	95
<b>VI MECHANISTIC STUDIES OF PARTICULATE SOIL DETERGENCY: III: PERFORMANCE OF METHYL ESTER SULFONATE (MES)</b>	<b>102</b>
6.1 Abstract	102
6.2 Introduction	103
6.3 Experimental Procedures	104
6.3.1 Materials	104
6.3.2 Experimental	104
6.4 Results and Discussion	105
6.4.1 Basic Properties of Studied Surfactants (MES, LAS and SDS)	105
6.4.1.1 Critical Micelle Concentration (CMC)	105
6.4.2 Surfactant Adsorption on Fabrics and Soils	106
6.4.3 Zeta Potential of Studied Fabrics and Particulate Soils in Surfactant Solution	110

CHAPTER	PAGE
6.4.4 Dispersion Stability	116
6.4.5 Contact Angle of Surfactant Solutions	117
6.4.6 Correlation between Zeta Potential to Detergency Performance and Redeposition at Plateau Concentration	118
6.5 Summary of Detergency Mechanisms	119
6.6 Acknowledgements	119
6.7 References	119
<b>VII CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS</b>	124
7.1 Conclusions	124
7.2 Recommendations	125
<b>REFERENCES</b>	126
<b>APPENDICES</b>	139
<b>Appendix A</b> Adsorption Isotherm	139
<b>Appendix B</b> Zeta Potential Measurements	144
<b>Appendix C</b> Contact Angle Measurements	149
<b>Appendix D</b> Detergency Experiments	150
<b>Appendix E</b> Redeposition Experiments	152
<b>CURRICULUM VITAE</b>	154

## LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
<b>CHAPTER II</b>		
2.1	Surfactant structure	5
2.2	Sodium dodecyl sulphate (SDS) structure	6
2.3	Linear alkyl benzene sulphonate (LAS) structure	7
2.4	Methyl ester sulphonate (MES) structure	7
2.5	Octylphenol ethoxylate (Triton X-100) structure	10
2.6	Alcohol ethoxylate (AE) structure	11
2.7	Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB)	12
2.8	Typical four-regime adsorption isotherms	13
2.9	Schematic representation of the growth of aggregates of sodium dodecyl sulfate (SDS) at the alumina–water interface.	14
2.10	Adsorption of nonionic surfactant in I–V successive stages of adsorption. (b) Adsorption isotherms corresponding to the three adsorption sequences.	19
2.11	Schematic presentation of the effect of nonionic surfactant hydrocarbon chain length on the adsorption of the anionic sodium dodecyl sulfate (SDS)	21
2.12	Schematic presentation of electrical double layer.	23
2.13	Typical plots the zeta potential measured as a function of pH determination the PZC	24
2.14	Wetting performance correlated to the Contact angle.	25
2.15	Three-phase intersection point of Contact angle measurements.	27
2.16	Atomic structural models of (a), graphite, and (b) carbon black	29
2.17	Structural models of kaolinite	31

<b>FIGURE</b>		<b>PAGE</b>
<b>CHAPTER IV</b>		
4.1	Detergency performance of surfactants on cotton and polyester fabric (a) SDS/cotton, (b) SDS/polyester, (c) OP(EO)10/cotton, (d) OP(EO)10/polyester, (e) CTAB/cotton, (f) CTAB/polyester	57
4.2	SEM micrograph of test fiber (x 4,000) a) cotton fiber before soiling b) cotton fiber after soiling with carbon black c) polyester fiber before soiling d) polyester fiber after soiling with carbon black	62
<b>CHAPTER V</b>		
5.1	Dispersion stability; Effect of time (a) Ferric oxide, (b) Kaolinite, Effect of solution pH (c) Ferric oxide, (d) Kaolinite	86
5.2	SEM Photos of Soiled Fabrics (a) Ferric Oxide/Cotton, (b) Ferric Oxide/Polyester, (c) Kaolinite/Cotton, (d) Kaolinite/Polyester	94
<b>CHAPTER VI</b>		
6.1	Plot of surface tension versus surfactant concentration	106
6.2	Adsorption isotherm of MES on (a) carbon black, (b) ferric oxide, (c) kaolinite, (d) cotton, and (e) polyester with pH control at constant temperature 30 °C	107
6.3	Dispersion stability of three studied soils (a) Carbon black, (b) Ferric oxide and (c) Kaolinite in the presence of three studied surfactants (MES, LAS and SDS)	117
6.4	Contact angle of Surfactant-free (S-Free), MES, LAS and SDS on carbon black (CB) and polyester (PE) surfaces as a function of solution pH	118

## LIST OF TABLES

<b>TABLE</b>		<b>PAGE</b>
<b>CHAPTER II</b>		
2.1	The relation between zeta potential and the stability behavior of the colloid.	23
<b>CHAPTER IV</b>		
4.1	Properties of studied substrates	48
4.2	Detergency, surface pressure at solid/liquid interface, contact angle, fraction of monolayer adsorption, and zeta potential at plateau concentration for polyester fabric	49
4.3	Detergency, surface pressure at solid/liquid interface, contact angle, fraction of monolayer adsorption, and zeta potential at plateau concentration for cotton fabric	50
4.4	Detergency, zeta potential and contact angle of surfactant-free solutions for polyester fabric	51
4.5	Detergency, zeta potential and contact angle of surfactant-free solutions for cotton fabric	51
4.6	Amount of surfactant adsorbed on fabric after the second rinse	60
<b>CHAPTER V</b>		
5.1	Properties of studied particulates and substrates	74
5.2	Maximum adsorption ( $\Gamma_{max}$ ) of each surfactant on studied substrates	76
5.3	Detergency, redeposition, zeta potential and contact angle of surfactant-free solutions for polyester fabric	77
5.4	Detergency, redeposition and zeta potential of surfactant-free solutions for cotton fabric	78



<b>TABLE</b>	<b>PAGE</b>
5.5 Detergency, redeposition, fraction of monolayer adsorption, and zeta potential at plateau concentration for cotton fabric	79
5.6 Detergency, redeposition, fraction of monolayer adsorption, zeta potential, surface tension, contact angle and surface pressure at solid/liquid interface at plateau concentration for polyester fabric	80
5.7 Adsorbed surfactant aggregate structure at pH 11	83
5.8 Amount of surfactant adsorbed on fabric after the second rinse	91
5.9 Detergency (%) for ferric oxide analyzed by AAS and refraction method at plateau concentration and pH 11 for all studied surfactants	93

## CHAPTER VI

6.1 Properties of studied particulate soils and substrates	108
6.2 Maximum adsorption ( $\Gamma_{max}$ ) and fraction of monolayer adsorption of all studied surfaces at different solution pHs	109
6.3 Detergency, redeposition, zeta potential and contact angle of surfactant-free solutions with polyester fabric and three different particulate soils at different solution pHs	111
6.4 Detergency, redeposition and zeta potential of surfactant-free solutions with cotton fabric and three different particulate soils at different solution pHs	112
6.5 Detergency, redeposition, maximum adsorption, fraction of monolayer adsorption, zeta potential, contact angle and surface pressure at solid/liquid interface for MES system with polyester at plateau concentrations of different particulate soils and at different solution pHs	113

<b>TABLE</b>	<b>PAGE</b>
6.6 Detergency, redeposition, maximum adsorption, fraction of monolayer adsorption and zeta potential for MES system with cotton at plateau concentrations of different particulate soils at different solution pHs	114
6.7 Detergency, redeposition and sum of zeta potentials of carbon black, ferric oxide and kaolinite at plateau concentrations of different surfactants (MES, LAS and SDS) at pH 11 for both fabrics of polyester and cotton	115