

การจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียโดยอินดิซ์แอร์โฟลเทชัน



นางสาวชุลีกร ชุกกลิ่น

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6812-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF STABILIZED OIL IN WASTEWATER EMULSIONS
BY INDUCED AIR FLOTATION

Miss Chuleekorn Chooklin



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6812-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียโดยอินดิวิจแอริโพลเทชัน
โดย นางสาวชุลีกร ชุกกลิ่น
ภาควิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาปดี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาปดี)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เพ็ญพรอค ทัศคร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชวลีกร ชุกกลิ่น : การขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียโดยอินดิคซ์แอโรโฟลเทชัน.

(REMOVAL OF STABILIZED OIL IN WASTEWATER EMULSIONS BY INDUCED AIR FLOTATION) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาปดี, 81 หน้า.ISBN 974-17-6812-5.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียโดยเทคนิคอินดิคซ์แอโรโฟลเทชัน ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ (ก). สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (โพลีออกซีเอทิลีนซอกซิโบนโมโนโอเลต, ทวิน 80) สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (เฮกซะเดคซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์, ซีเทบ) สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต, เอสดีเอส) และสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง ซีเทบ กับ ทวิน 80 ที่อัตราส่วน (2:8) (5:5) และ (8:2) ซึ่งใช้สำหรับทำให้ฟองมีเสถียรภาพมากขึ้น (ข). ความเข้มข้นและชนิดของอิเล็กโทรไลต์ (ค). ค่าความเป็นกรด-เบส (ง). อัตราการไหลของอากาศ (จ). ขนาดของฟองอากาศ และ (ฉ). เวลาที่ใช้ในการโฟลเทชันเพื่อขจัดน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ โดยค่าซีต้าโพเทนเชียล ค่าความขุ่น และค่าการดูดกลืนแสงยูวี ถูกใช้เพื่ออธิบายผลการทดลอง ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขจัดน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำขึ้นกับชนิดของสารลดแรงตึงผิวชนิดและปริมาณของอิเล็กโทรไลต์ เช่น ทวิน 80 1 ซีเอ็มซี และ อลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร, ซีเทบ 0.25 ซีเอ็มซี และ อลูมิเนียมซัลเฟต 480 มิลลิกรัมต่อลิตร, เอสดีเอส 0.25 ซีเอ็มซี และ อลูมิเนียมซัลเฟต 280 มิลลิกรัมต่อลิตร, ซีเทบ : ทวิน 80 (2:8) 1 ซีเอ็มซี และ อลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร, ซีเทบ : ทวิน 80 (5:5) 1 ซีเอ็มซี และ อลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร, ซีเทบ : ทวิน 80 (8:2) 1 ซีเอ็มซี ผลของ pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ 7 ในขณะที่เมื่อใช้เอสดีเอส pH ที่เหมาะสมที่ 4 โดยใช้อัตราการไหลของอากาศ 8 มิลลิตรต่อวินาที ขนาดของฟองอากาศในช่วง 615 - 688 ไมโครเมตรและเวลาในการโฟลเทชันที่ 20 นาที ประจุบวกจากอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในการทำลายเสถียรภาพของน้ำมันอิมัลชันที่มีความเสถียร ผลจากการทดลองจะเห็นว่าสามารถขจัดน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำที่มีเสถียรภาพออกจากอิมัลชันของน้ำเสียได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา 2547

4572280823 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: STABILIZED OIL IN WASTEWATER EMULSIONS / INDUCED AIR FLOTATION

CHULEEKORN CHOOKLIN : REMOVAL OF STABILIZED OIL IN WASTEWATER
EMULSIONS BY INDUCED AIR FLOTATION. THESIS ADVISOR :

ASSIST.PROF.DR.SANGOB TIP PONGSTABODEE ,81 pp.ISBN 974-17-6812-5.

Removal of stabilized oil in wastewater emulsions was investigated by means of induced air flotation technique. Several operating parameters including (a). nonionic surfactant (Poly(oxyethylene)(20)-sorbitane monooleate, Tween 80), cationic surfactant (Hexadecyltrimethyl ammonium bromide, CTAB) , anionic surfactant (Sodium Dodecyl Sulphate, SDS) and mixed surfactant between CTAB and Tween 80 at ratio (2:8), (5:5), and (8:2) used for longer-life of air bubble, (b). concentrations and types of electrolyte, (c). pH, (d). air flow rate, (e). air bubble size and (f). flotation time were investigated to achieve the performance of induced air flotation for cutting oil removal. Zeta – potential, turbidity and UV-absorbance measurements were also performed in order to interpret the obtained results. An optimum condition for soluble cutting oil removal depended on types of surfactant and a quantity of electrolyte, such as 1 CMC Tween 80 and 160 mg/l $Al_2(SO_4)_3$, 0.25 CMC CTAB and 480 mg/l $Al_2(SO_4)_3$, 0.25 CMC SDS and 280 mg/l $Al_2(SO_4)_3$, 1 CMC CTAB : Tween 80 (2:8) and 160 mg/l $Al_2(SO_4)_3$, 1 CMC CTAB : Tween 80 (5:5) and 160 mg/l $Al_2(SO_4)_3$, 1 CMC CTAB : Tween 80 (8:2). The results showed that an appropriate pH was at 7 except in case of using SDS was at pH 4. The higher oil removal was obtained when employing 8 ml/sec in air flow rate, 615 - 688 μm in air bubble size and 20 mins in flotation time. It also found that aluminium cation had effectively induced the destabilization of stabilized oil. More than 99 percentage of stabilized soluble cutting oil emulsions could be removed from the wastewater.

Department Chemical Technology Student's signature.....

Field of study Chemical Technology Advisor's signature.....

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณา ความช่วยเหลือ และการสนับสนุนจากบุคคลหลายๆ ฝ่าย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. สงบทิพย์ พงศ์สถาปดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด

ขอขอบคุณ ท่านอาจารย์ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของภาควิชาเคมีเทคนิค และวิทยาลัย ปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การอนุเคราะห์ให้สถานที่และอุปกรณ์ในการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสุภาพ ศิลปคัมภีร์ภาพ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ที่ให้การอนุเคราะห์น้ำมันหล่อเย็นและได้ให้คำแนะนำต่างๆในการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสวกฤต ตระการกิจ คุณสุวิศิษฐ์ ตระการกิจ คุณพัศตรา สมบูรณ์ธเนศ คุณโกวิท ปิยมังคลา คุณฉัตรชัย ชุกกลิ่น คุณเชิดพงศ์ ชุกกลิ่น คุณสุชาดา คณาวงศ์ และเพื่อนๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกาย กำลังสติปัญญา และกำลังใจที่ดีตลอด มาจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โฟลเทชัน (Flotation).....	4
2.2 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant).....	5
2.3 น้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย.....	9
2.3.1 น้ำมันที่ละลายน้ำ.....	9
2.3.2 น้ำมันที่เป็นอิมัลชันและไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสม.....	9
2.3.3 น้ำมันที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสม.....	10
2.3.4 น้ำมันลอยบนผิวน้ำ (เป็นฟิล์ม).....	10
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
3. วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	14
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	16
3.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	17

สารบัญ

หน้า

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทำงานวิจัย.....	18
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ค่าความเข้มข้นวิกฤติของสารลดแรงตึงผิว.....	20
4.2 ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว.....	21
4.3 ชนิดและความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์.....	24
4.4 ค่าความเป็นกรด – ด่าง.....	32
4.5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย.....	35
4.6 ขนาดของฟองอากาศ.....	38
4.7 อัตราการไหลของอากาศ.....	40
4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการขจัดน้ำมันเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่อัตราส่วนต่างๆ กัน.....	44
4.4 เปรียบเทียบงานวิจัยอื่นกับงานวิจัยนี้ที่เงื่อนไขที่ดีที่สุด.....	46
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	47
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	48
รายการอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก.....	53
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	81

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (critical micelle concentration, CMC) ของสารลดแรงตึงผิว.....	20
ตารางที่ 4.2 ค่า zeta potential (mV) ของสารลดแรงตึงผิวกรณีที่ไม่เติมอิเล็กโทรไลต์.....	23
ตารางที่ ค-1 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC).....	57
ตารางที่ ค-2 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC).....	57
ตารางที่ ค-3 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (SDS) เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC).....	58
ตารางที่ ค-4 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับสารลดแรงตึงผิวชนิด ไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน 2 : 8 เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC).....	58
ตารางที่ ค-5 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับสารลดแรงตึงผิวชนิด ไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน 5 : 5 เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC).....	59
ตารางที่ ค-6 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับสารลดแรงตึงผิวชนิด ไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน 8 : 2 เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC).....	59
ตารางที่ ค-7 ผลของอิเล็กโทรไลต์ที่ความเข้มข้นต่างๆต่อค่าซีต้าโพเทนเชียล (Zeta potential)	60
ตารางที่ ค-8 ผลของค่าความเป็นกรด – เบสต่อค่าซีต้าโพเทนเชียล (Zeta potential)	62
ตารางที่ ค-9 ผลของอิเล็กโทรไลต์ต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น.....	63

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ ค-10 ผลของอัตราการใช้ของอากาศต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น.....	69
ตารางที่ ค-11 ผลของค่าความเป็นกรด – เบสต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น.....	71
ตารางที่ ค-12 ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น.....	73
ตารางที่ ค-13 ผลของขนาดของฟองอากาศต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น.....	76
ตารางที่ ค-14 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันเริ่มต้นต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น.....	78
ตารางที่ ค-15 ผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ต่อการขจัดน้ำมันและ การลดความขุ่น.....	80
ตารางที่ ค-16 ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.25 CMC และ 1 CMC ต่อ การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นกรณีที่ไม่เติมอิเล็กโทรไลต์.....	80

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	กระบวนการทำให้เป็นฟองลอย.....	5
รูปที่ 2.2	โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว.....	6
รูปที่ 2.3	โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในการเกิดไมเซลล์.....	6
รูปที่ 2.4	แรงระหว่างโมเลกุลในสารละลาย.....	7
รูปที่ 2.5	ความคงตัวของฟอง.....	8
รูปที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึง.....	9
รูปที่ 3.1 ก	น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำสำหรับตัด กลึง โลหะ	
	ข น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย.....	14
รูปที่ 3.2	แผนผังอุปกรณ์ทดลองระบบอินดิคซ์แอร์โฟลเทชัน.....	16
รูปที่ 4.1	ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.25 CMC และ 1 CMC ต่อเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมัน กรณีไม่เติมอิเล็กโทรไลต์.....	22
รูปที่ 4.2	ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.25 CMC และ 1 CMC ต่อเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่น กรณีไม่เติมอิเล็กโทรไลต์.....	23
รูปที่ 4.3	ผลของอลูมิเนียมซัลเฟตต่อเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ	25
รูปที่ 4.4	ผลของอลูมิเนียมซัลเฟตต่อเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่น เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ	26
รูปที่ 4.5	ผลของอลูมิเนียมซัลเฟตต่อประจุรอบหยदन้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ.....	27
รูปที่ 4.6	ผลของโซเดียมซัลเฟตต่อประจุรอบหยदन้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ	27
รูปที่ 4.7	ผลของอลูมิเนียมซัลเฟตเทียบกับโซเดียมซัลเฟตต่อเปอร์เซ็นต์การขจัด น้ำมันเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ.....	29
รูปที่ 4.8	ผลของอลูมิเนียมซัลเฟตเทียบกับโซเดียมซัลเฟตต่อเปอร์เซ็นต์การลด ความขุ่นเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ.....	29
รูปที่ 4.9	ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมัน เมื่อมีการเติมอิเล็กโทรไลต์.....	30
รูปที่ 4.10	ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่น เมื่อมีการเติมอิเล็กโทรไลต์.....	31

รูปที่ 4.11 ผลของค่าความเป็นกรด – เบส ต่อเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ	33
รูปที่ 4.12 ผลของค่าความเป็นกรด – เบส ต่อเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่น เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ	33
รูปที่ 4.13 ผลของค่าความเป็นกรด – เบสต่อประจุรอบหยดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ.....	34
รูปที่ 4.14 ก. น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ Tween 80 ที่ความเข้มข้น 1 CMC อลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 4 หยดน้ำมันมีขนาด 10 – 50 ไมโครเมตร.....	35
ข. น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ Tween 80 ที่ความเข้มข้น 1 CMC อลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 7 หยดน้ำมันมีขนาด 50 – 200 ไมโครเมตร.....	35
รูปที่ 4.15 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันต่อเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ.....	36
รูปที่ 4.16 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันต่อเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่น เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ.....	37
รูปที่ 4.17 ก. น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ Tween 80 ที่ความเข้มข้น 1 CMC อลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 7 หยดน้ำมันมีขนาด 50 – 200 ไมโครเมตร.....	37
ข. น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ Tween 80 ที่ความเข้มข้น 1 CMC อลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 7 หยดน้ำมันมีขนาด 300 – 800 ไมโครเมตร.....	37
รูปที่ 4.18 ผลของขนาดของฟองอากาศต่อเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ.....	38
รูปที่ 4.19 ผลของขนาดของฟองอากาศต่อเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่น เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ.....	39
รูปที่ 4.20 ก.-จ. ผลของอัตราการไหลของอากาศต่อการขจัดน้ำมันที่เวลาใน การโฟลเทชันต่างๆ	41

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.20 ข.-ฎ. ผลของอัตราการใช้ของอากาศต่อการลดความชุ่มชื้นในเวลาในการโพลเทชันต่างๆ	42
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมันกับอัตราส่วนระหว่าง CTAB : Tween 80 เมื่อไม่ใช้ $Al_2(SO_4)_3$ และใช้ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร....	44
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การขจัดความชุ่มชื้นกับอัตราส่วนระหว่าง CTAB : Tween 80 เมื่อไม่ใช้ $Al_2(SO_4)_3$ และใช้ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร....	44
รูปที่ ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80).....	54
รูปที่ ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB).....	54
รูปที่ ข-3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (SDS).....	54
รูปที่ ข-4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (2:8)	55
รูปที่ ข-5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (5:5)....	55
รูปที่ ข-6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (8:2).....	55
รูปที่ ข-7 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (critical micelle concentration, CMC) ของสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วนต่างๆ	56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียก่อให้เกิดปัญหาแก๊สแวลลุ่มมากมาย เนื่องจากน้ำมันจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่มีในธรรมชาติได้ยาก นอกจากนี้ยังก่อผลเสียต่อการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีชีวภาพอีกด้วย ชนิดของน้ำมันที่พบในน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับแหล่งของน้ำเสียนั้นๆ ซึ่งน้ำมันที่พบมีทั้งน้ำมันที่กินได้ น้ำมันที่กินไม่ได้ และน้ำมันผสม ตัวอย่างเช่นน้ำมันที่พบในน้ำเสียจากสถานบริการน้ำมัน มักประกอบด้วยน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์หรือน้ำมันเครื่อง ในขณะที่น้ำมันที่พบในน้ำเสียจากร้านอาหารมักเป็นพวกไขมัน ซึ่งก็ต่างต้องถูกขจัดออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่ท่อน้ำทิ้งสาธารณะหรือก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยอย่างน้อยต้องมีระดับความเข้มข้นน้ำมันหรือไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียตามมาตรฐานน้ำทิ้ง ตามข้อกำหนดที่ว่าน้ำมันและไขมันที่มีอยู่ในน้ำเสียหรือน้ำทิ้งต้องไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในบางครั้งระดับความเข้มข้นของน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนั้นถูกตรวจพบสูงถึง 40,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Zouboulis และ Avranas, 2000) น้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียมีทั้งที่อยู่ในรูปน้ำมันอิสระ (free oil) และในรูปอิมัลชัน ซึ่งจะมีความยากง่ายในการขจัดออกจากน้ำเสียต่างกัน หากอยู่ในรูปน้ำมันอิสระ จะสามารถแยกออกจากน้ำเสียโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงโลก แต่น้ำมันในรูปอิมัลชันจะไม่สามารถถูกแยกด้วยแรงโน้มถ่วงโลก สาเหตุที่ทำให้เป็นเช่นนี้เพราะขนาดของหยดน้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชัน มีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับหยดน้ำมันที่อยู่ในรูปของน้ำมันอิสระ นอกจากนี้สมบัติของน้ำมันในรูปอิมัลชันที่มีเสถียรภาพและไม่ค่อยรวมตัวกันจึงยากต่อการขจัดออกจากน้ำเสีย ข้อเสียที่สำคัญอีกประการหนึ่งของการขจัดน้ำมันออกจากน้ำเสียโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงโลกนั่นคือ ไม่สมควรประยุกต์ใช้กับน้ำมันที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำและไม่สามารถใช้กับน้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชันเสถียร ตัวอย่างเช่นน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ (Soluble Cutting Oil) ซึ่งใช้กันมากในอุตสาหกรรม ตัด และกลึงโลหะ น้ำมันชนิดนี้เมื่ออยู่ในน้ำอนุภาคน้ำมันจะกระจายแทรกตัวอยู่ในน้ำเกิดเป็นอิมัลชันที่มีความเสถียรมากยากแก่การขจัด และก่อให้เกิดปัญหาแก่ระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งไม่สามารถขจัดด้วยวิธี แอกติเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge) ที่ใช้กันทั่วไปในโรงงาน

วิธีการต่างๆหลายวิธีถูกประยุกต์เพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ละวิธียังคงมีจุดอ่อน เช่น

การดูดซับน้ำมันด้วยตัวดูดซับ ไม่สมควรประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีปริมาณน้ำมันอยู่ในปริมาณที่น้อยๆ

การแลกเปลี่ยนไอออน ใช้ได้เฉพาะน้ำมันที่ละลายอยู่ในน้ำเท่านั้นและมีค่าใช้จ่ายสูง

Sedimentation เป็นกระบวนการแยกน้ำมันโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงโลก น้ำมันซึ่งเบากว่าน้ำจะแยกเป็นชั้นบนผิวน้ำซึ่งเป็นวิธีทางฟิสิกส์ที่ไม่ยุ่งยากค่าใช้จ่ายต่ำ แต่มีข้อเสีย คือ ใช้เวลาดำเนินชั่งนานและเหมาะกับน้ำมันที่มีความหนาแน่นแตกต่างจากความหนาแน่นของน้ำมากๆ

Coagulation เป็นกระบวนการทำลายเสถียรภาพของน้ำมันอิมัลชันในน้ำเสีย ซึ่งทำให้หยดน้ำมันที่กระจายตัวในน้ำเสียมีโอกาสจับเกาะรวมกันเป็นหยดน้ำมันขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะทำให้ความเร็วในการจมตัวหรือลอยตัวสูงขึ้น วิธีการนี้มักใช้ร่วมกับวิธี Flocculation เพื่อให้หยดน้ำมันเกาะรวมตัวกัน กลายเป็นหยดน้ำมันขนาดใหญ่ พร้อมแยกตัวออกจากน้ำเสีย แต่จะทำให้ได้ผลการขจัดน้ำมันออกจากน้ำเสียมากขึ้นต้องทำร่วมกับการบำบัดวิธีอื่นๆ

ดังนั้นวิธีการที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย คือ อินดิวิจแออร์โฟลเทชัน (Induced Air Flotation, IAF) โดยคำนึงถึงขนาดและน้ำหนักของเครื่องมือที่ใช้ การบำรุงรักษา ประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในการขจัดน้ำมัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียโดยอินดิวิจแออร์โฟลเทชัน (Induced Air Flotation, IAF)
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย โดยอินดิวิจแออร์โฟลเทชัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการศึกษาการเตรียมน้ำมันเสถียรในน้ำเสียอิมัลชันโดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ Soluble Cutting oil
2. ทำการศึกษาการทำลายเสถียรภาพของอิมัลชันที่มีความเสถียรโดยใช้โอเลกโทรไลต์
3. ทำการศึกษาผลของอัตราการไหลของอากาศและขนาดของฟองอากาศที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมันเสถียรในน้ำเสียอิมัลชัน
4. ทำการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมันเสถียรในน้ำเสียอิมัลชัน

5. ทำการศึกษาผลของความเป็นกรด-เบสที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมันเสถียรในน้ำเสีย
อิมัลชัน
6. ทำการศึกษาความเข้มข้นของน้ำมันที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมันเสถียรในน้ำเสียอิมัลชัน

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1. ค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องการขจัดน้ำมันในน้ำเสียโดยวิธีโฟลเทชัน ลักษณะของน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย เสถียรภาพของน้ำมันในรูปอิมัลชัน และผลของสารลดแรงตึงผิวและผลของอิเล็กโทรไลต์
2. เตรียมอุปกรณ์และคอลัมน์สำหรับการทดลองโดยอินดิคเตอร์โฟลเทชันที่ใช้ในการทำงานวิจัย
3. เตรียมน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ
4. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมและผลของปัจจัยต่างๆต่อเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียโดยอินดิคเตอร์โฟลเทชัน ซึ่งอาศัยตัวแปร คือ
 - ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุ สารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่มีประจุ และผลของอัตราส่วนผสมของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด
 - ผลของอิเล็กโทรไลต์
 - ขนาดของฟองอากาศ
 - ความเป็นกรด-เบส
 - อัตราการไหลของอากาศ
 - ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมัน
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทำวิจัย
6. เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ภาวะที่เหมาะสมในการขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียโดยอินดิคเตอร์โฟลเทชัน
2. ใช้เป็นต้นแบบในการขจัดน้ำมันหล่อเย็นออกจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมประเภทตัดและกลึงโลหะ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โฟลเทชัน (Flotation)

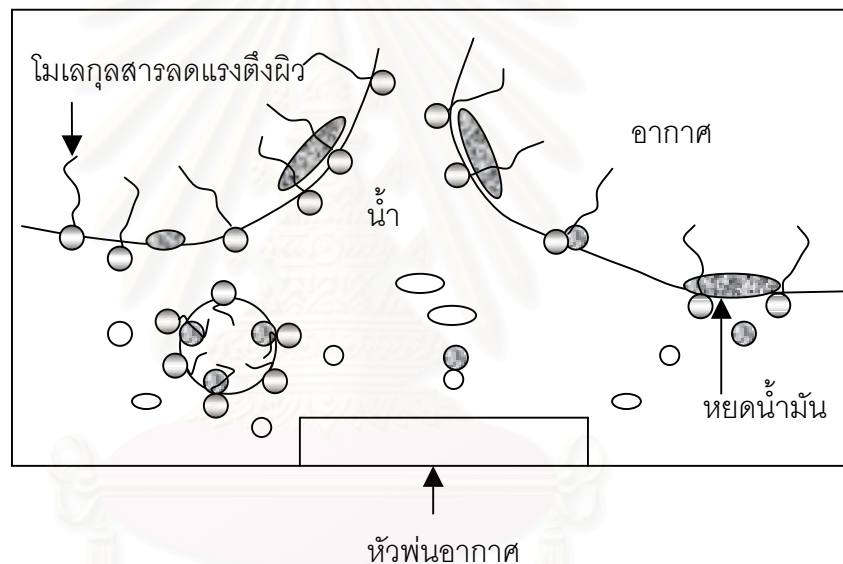
Flotation เป็นกระบวนการที่ปล่อยอากาศเข้าสู่ น้ำเสีย ที่ระดับความดันบรรยากาศ สูญญากาศ หรือ ที่ระดับความดันสูงๆ อากาศเหล่านั้นจะสัมผัสกับหยดน้ำมันซึ่งกระจายตัวอยู่ใน น้ำแล้วเกาะรวมตัวกัน และเคลือบตัวผิวมัน้ำ ซึ่งหยดน้ำมันจะถูกกวาดออกไปในที่สุด โฟลเทชัน สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท

Dissolved Air Flotation (DAF) เป็นวิธีการที่ต้องใช้ความดันสูงประมาณ 4-6 บรรยากาศ จากนั้นลดความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ อากาศจะหลุดออกมาเป็นฟองอากาศขนาดเล็ก ซึ่งจะเกาะและพองสารที่เป็นของแข็งและหยดน้ำมันต่างๆ ให้ลอยขึ้นมาที่ผิวมัน้ำ โดยในถังลอยจะมี เครื่องกวาดวัสดุที่ลอยแยกออกมา ระบบนี้เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงแต่ข้อเสียมีค่า ใช้จ่ายสูงเพราะต้องใช้เทคโนโลยีสูงเพื่อทำให้เกิดความดันที่ต้องการ

Induce Air Flotation (IAF) จากหลักการดำเนินงานของอินดิวิจแอริโฟลเทชัน อากาศที่ ความดันบรรยากาศจะถูกปล่อยสู่น้ำเสียที่ต้องการบำบัด ฟองอากาศจะเข้าไปเกาะกับน้ำมันที่ปน เปื้อนในน้ำเสียแล้วลอยตัวผิวมัน้ำด้านบน จึงทำให้น้ำมันแยกออกจากน้ำเสียโดยแรงลอยตัวที่ได้ จากฟองอากาศ ระบบนี้มีขนาดเล็ก น้ำหนักน้อย การบำรุงรักษาค่อนข้างง่าย ใช้เวลาน้อยในการ ขจัดน้ำมัน ประสิทธิภาพสูง และค่าใช้จ่ายต่ำ ข้อดีที่สำคัญของการขจัดน้ำเสียด้วยวิธีอินดิวิจแอริ โฟลเทชัน คือ การเติมอากาศเข้าสู่ น้ำเสียก็เปรียบเหมือนเป็นการเพิ่มค่าออกซิเจนในน้ำเสียอีกทาง หนึ่งด้วย ในบางครั้งอาจจะมีการเติมสารลดแรงตึงผิวเพื่อทำให้ค่าแรงตึงผิวของสารละลายลดต่ำ ลงทำให้เกิดฟองได้ง่ายขึ้น ฟองที่เกิดขึ้นมีความคงตัวและจับน้ำมันได้ดี โมเลกุลของสารลดแรงตึง ผิวจะไปเกาะรวมตัวระหว่างผิวมัน้ำและอากาศเป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยส่วนที่ไม่ชอบ น้ำจะชี้ออกสู่อากาศ ในขณะที่ส่วนที่ชอบน้ำจะอยู่ในชั้นน้ำ ในกรณีที่มือน้ำมันอยู่ในน้ำ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะจับกับหยดน้ำมันได้ดี โดยหันส่วนไม่ชอบน้ำเข้าหาหยดน้ำมัน ซึ่ง ทำให้น้ำมันลอยขึ้นมาพร้อมกับฟองอากาศและโมเลกุลสารลดแรงตึงผิว ฉะนั้นน้ำมันที่มี ความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นของน้ำ ก็สามารถถูกขจัดออกมาได้ นอกจากนี้สารลด แรงตึงผิวที่ยังหลงเหลือในน้ำเสียยังสามารถถูกบำบัดได้โดยระบบทางชีวภาพหรือสามารถนำกลับ มาใช้งานใหม่ได้อีกด้วย อินดิวิจแอริโฟลเทชัน สามารถแบ่งออกได้หลายประเภทขึ้นกับลักษณะ

การเกิดของฟองอากาศ เช่น การเกิดฟองอากาศโดยใช้กระแสไฟฟ้า เรียกว่า อิเล็กโทรโฟลเทชัน (Electro Flotation) การเกิดฟองอากาศโดยเปอร์เซ็นต์การกวน เรียกว่า มะแคนนิเคิล (Mechanical Flotation) หรือการเกิดฟองอากาศโดยการเป่าอากาศ ณ ที่ความดันบรรยากาศ เรียกว่า ฟรอตโฟลเทชัน (Froth Flotation)

ประสิทธิภาพของกระบวนการทำให้เป็นฟองลอยอาจเพิ่มสูงได้โดยเติมสารเคมีช่วย เช่น อลูมิเนียมซัลเฟต เกลือเฟอร์ริก และ แอคติเวเตดซิลิกา โดยสารเหล่านี้ที่เติมลงไปสามารถทำให้เกิดการเชื่อมโยงอนุภาคเข้าด้วยกันและในการทำเช่นนี้จะทำให้โครงสร้างง่ายต่อการถูกจับด้วย ฟองอากาศ สารอิเล็กโทรไลต์ จะทำหน้าที่จับอนุภาคเข้าด้วยกันทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งทำให้สามารถถูกจับด้วยฟองอากาศง่ายขึ้นและลอยตัวได้รวดเร็วยิ่งขึ้น (Tantayakom, 1997)

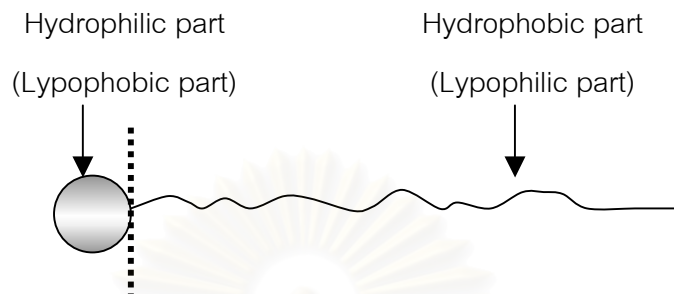


รูปที่ 2.1 กระบวนการทำให้เป็นฟองลอย (Dean และ Lemlich, 1965)

2.2 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

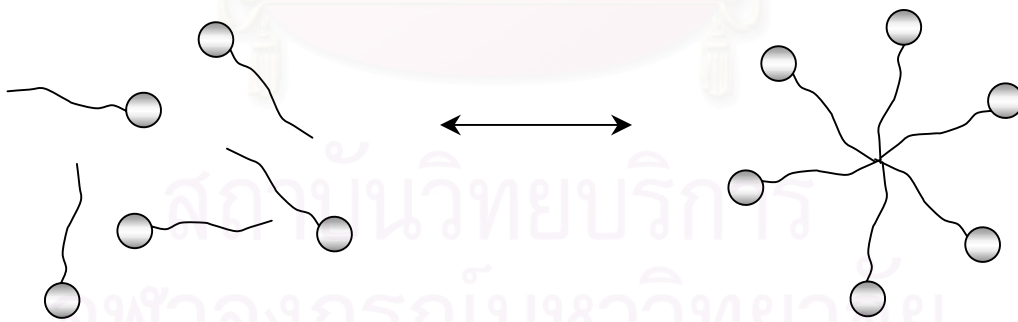
สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นคำย่อของ surface active agent เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการดูดซับที่ผิวระหว่างเฟส ทำให้แรงตึงผิว (Surface tension) ลดต่ำลง สารลดแรงตึงผิวมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เป็นส่วนหัวซึ่งจะละลายน้ำได้ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เป็นส่วนหาง ซึ่งจะเป็นอนุพันธ์ของสารอินทรีย์ไฮยาเว ดังแสดงในรูปที่ 2.2 สารลดแรงตึงผิวมี 4 ชนิด คือ สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic Surfactant) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic Surfactant) สารลดแรงตึงผิวที่ไม่

มีประจุ (Nonionic Surfactant) และสารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบในตัวมันเอง (Combinations Surfactant)



รูปที่ 2.2 โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว (Rosen, 1989)

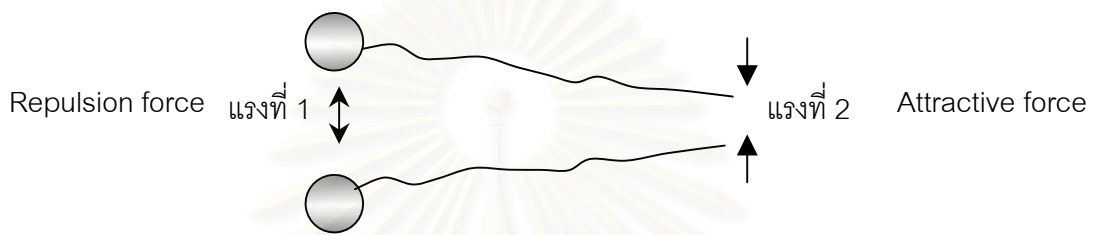
เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวที่ปริมาณต่ำลงในสารละลาย สารลดแรงตึงผิวจะกระจายตัวในสารละลายเป็นโมเลกุลเดี่ยวๆ และมักจะอยู่บริเวณผิวของสารละลาย (Interface) ซึ่งจะทำให้ค่าแรงตึงผิวของสารละลายลดต่ำลง แต่เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวมากขึ้นค่าแรงตึงผิวของสารละลายลดลงจนถึงที่เป็นค่าแรงตึงผิวที่ต่ำสุด ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ในสารละลาย ณ จุดนี้เรียกว่า ความเข้มข้นวิกฤต ซึ่งสารลดแรงตึงผิวจะจัดเรียงตัวจะอยู่ในรูปของไมเซลล์ (Micelles) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในการเกิดไมเซลล์ (Rosen, 1989)

อิทธิพลที่มีผลทำให้สารลดแรงตึงผิวเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มซึ่งเรียกว่า ไมเซลล์ มาจากแรงที่ 1 เป็นแรงทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) เกิดขึ้นที่ส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะเกิดแรงผลัก (repulsion) เนื่องจากส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวมีประจุเดียวกัน ถ้าส่วนหัวมีความ

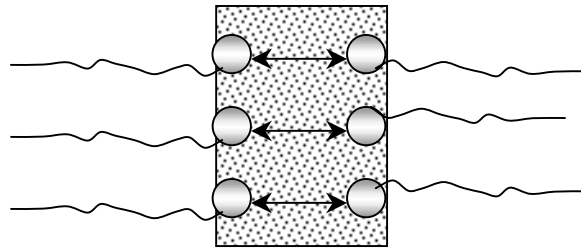
เป็นขั้วมากจะทำให้การเกิดไมเซลล์ยากขึ้นด้วย ดังนั้นสารประเภทนอนอิออนิกซึ่งไม่มีประจุจึงเกิดไมเซลล์ที่ความเข้มข้นต่ำๆ แรงที่ 2 เป็นแรงไฮโดรโฟบิก (hydrophobic force) เกิดที่ส่วนหางของสารลดแรงตึงผิว การดึงส่วนหางเข้าหากันนั้นซับซ้อนมาก เกิดจากเอนโทรปีและเอนทาลปีที่เปลี่ยนไป เมื่อสารลดแรงตึงผิวละลายในน้ำ ส่วนหางซึ่งไม่ชอบน้ำจึงพยายามที่จะมารวมกัน รูปที่ 2.4 แสดงแรงระหว่างโมเลกุล (intermolecular force)



รูปที่ 2.4 แรงระหว่างโมเลกุลในสารละลาย (Clint, 1992)

เมื่อความเข้มข้นต่ำๆ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะอยู่ห่างกัน แรงทั้ง 2 จะมีน้อย ความเข้มข้นที่มากขึ้นจะทำให้โมเลกุลเกิดแรงทั้ง 2 มากขึ้น ถ้ากรณีที่แรงที่ 1 มากกว่าแรงที่ 2 มากๆ โมเลกุลจะไม่รวมตัวกันไม่ว่าความเข้มข้นจะมากขึ้นเพียงใด และจะกระจายตัวเป็นสารแขวนลอยในน้ำ ถ้าส่วนหางสั้นโมเลกุลละลายน้ำได้มากขึ้น ในกรณีกลับกันถ้าแรงที่ 2 มากกว่าแรงที่ 1 มากๆ โมเลกุลจะรวมตัวกันง่าย แต่ไม่ละลายน้ำ และมีค่าซีเอ็มซีต่ำจนไม่อาจวัดค่าได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ของแรงทั้ง 2 และโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวจึงมีผลต่อค่าซีเอ็มซี

ความคงตัวของฟอง (foam stability) คือ การที่ฟองจะไม่แตกง่าย ทั้งนี้เกิดจากความมีขั้วของน้ำจะดึงส่วนหัวของโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวซึ่งชอบน้ำเข้ามาละลายในน้ำ ในขณะที่ส่วนหัวที่มีประจุเหมือนกันจะมีแรงผลักรัน จึงเป็นเหตุให้ฟองอากาศมีความคงตัว ดังนั้นถ้าส่วนหัวไม่มีประจุก็จะมีแรงผลักรันซึ่งจะทำให้ฟองมีความคงตัวต่ำ ทั้งนี้ความคงตัวจึงขึ้นกับโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวด้วย รูปที่ 2.5 แสดงผลของประจุของส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวที่มีผลต่อความคงตัวของฟอง



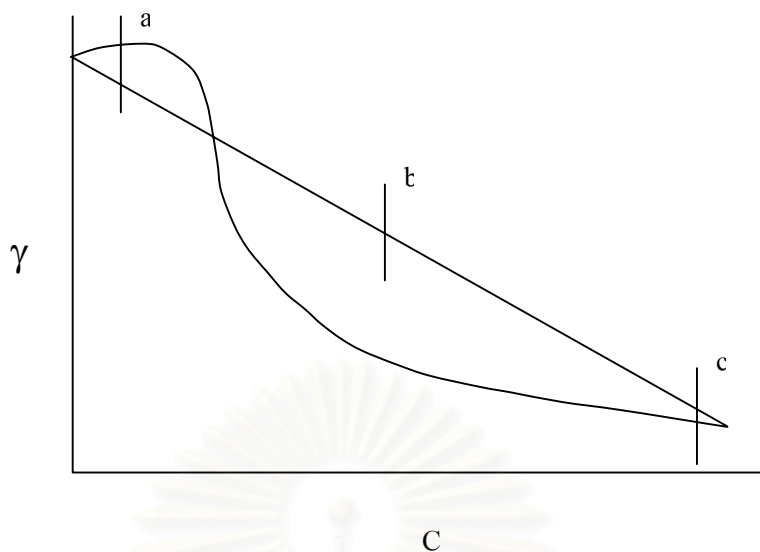
รูปที่ 2.5 ความคงตัวของฟอง (Davies และ Rideal, 1963)

การเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างก๊าซและของเหลว ภายใต้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงๆ สามารถอธิบายในเชิงปริมาณโดยสมการของ Gibbs (Gibbs, 1928) ดังสมการ 2.1

$$\frac{\tau}{C} = \frac{-1d\gamma}{RT dC} \quad 2.1$$

- เมื่อ τ คือ พื้นที่ผิวที่มากเกินพอของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ
 C คือ ความเข้มข้นที่จุดสมดุล (โมล / ลูกบาศก์เซนติเมตร)
 γ คือ ค่าแรงตึงผิว (มิลลินิวตัน / เมตร)
 R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ
 T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์

ค่า τ / C ใช้ในการพิจารณาแฟกเตอร์การกระจายตัว ส่วนค่าของ $d\gamma / dC$ สามารถหาได้จากความชันของกราฟ $\gamma - C$ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิว (γ) และความเข้มข้นของสารละลายของสารลดแรงตึงผิว (C) แสดงดังรูปที่ 2.6 ในเขตของความเข้มข้นต่ำมากๆ คือ ที่ต่ำกว่าจุด a การดูดซับจะเกิดขึ้นเล็กน้อย โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวต่อพื้นผิวมีน้อย และค่าแรงตึงผิวเข้าใกล้ค่าแรงตึงผิวของตัวทำละลายบริสุทธิ์ ที่ความเข้มข้นช่วงกลาง (ระหว่าง a และ b) ค่าแรงตึงผิวจะลดลงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวโดยค่าแรงตึงผิวอยู่ในช่วง 10^{-7} ถึง 10^{-3} นิวตัน/เมตร ขึ้นกับสถานะต่างๆ ในช่วงที่ความเข้มข้นของการเกิดไมเซลล์ และที่จุด b ความชันจะเข้าใกล้ศูนย์ ที่ขอบเขตนี้ จะเกิดไมเซลล์ (Yoshiyuki และ Eng, 1979)



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว

(Gibbs, 1928)

2.3 น้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย (มันรักซ์ และ มันดิน, 2545)

น้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียมักมี 4 รูปแบบ คือ

2.3.1. **น้ำมันที่ละลายน้ำ** ความสามารถในการละลายน้ำ (solubility) และ ความสามารถในการระเหย (volatility) ของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง เพราะฉะนั้นน้ำมันเบา (light oil) สามารถละลายน้ำและ ระเหยได้ดีกว่าน้ำมันหนัก (heavy oil) และความสามารถในการละลายน้ำของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นตามค่าความไม่อิ่มตัว (unsaturation) และค่าโพลาริตี (polarity) ที่เพิ่มขึ้น ปัญหาของน้ำมันที่ละลายน้ำตรวจสอบได้ยากด้วยสายตา เนื่องจากมีลักษณะที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ นอกจากนี้มีกลิ่นและรสแล้วน้ำมันที่ละลายน้ำส่วนใหญ่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดมะเร็ง

2.3.2. **น้ำมันที่เป็นอิมัลชันและไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสม** เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความปั่นป่วน (turbulence) เช่น เครื่องสูบน้ำ วาล์ว ไบพาส จุดเปลี่ยนขนาดของท่อ ฯลฯ ทำให้เกิดการกระจายของหยดน้ำมันในน้ำจนเกิดเป็นอิมัลชันที่มีหยดน้ำมันขนาดเล็ก โดยพลังงานที่ทำให้เกิดความปั่นป่วน และแรงตึงระหว่างผิวน้ำมันกับน้ำ (oil-water interfacial tension) มีผลต่อขนาดของหยดน้ำมัน แต่เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเพียงชั่วคราว เมื่อหยุดเขย่าหยดของเหลวเหล่านั้นจะพยายามกลับมารวมตัวกันและแยกชั้นดังเดิม เนื่องจากการปรับสภาพเข้าสู่จุดคงสภาพโดยการลดพื้นที่ผิวที่สัมผัสกันให้น้อยที่สุด

2.3.3. น้ำมันที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสม การที่มีสารลดแรงตึงผิวผสมอยู่ทำให้แรงตึงผิว (surface tension) ระหว่างน้ำมันกับน้ำลดลง หากใช้พลังงานที่เท่ากันเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว จะพบว่ามีพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำมันกับน้ำเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ขนาดของหยดน้ำมันมีขนาดเล็กลงมาก ในส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิกของสารลดแรงตึงผิวทำให้มีประจุไฟฟ้าที่ผิวของหยดน้ำมันเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น และยากต่อการขจัดโดยวิธีทั่วไป หยดน้ำมันที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ เรียกว่า วัฏภาคภายในหรือวัฏภาคกระจายตัว (internal or dispersed phase) ส่วนน้ำที่ให้หยดน้ำมันกระจายอยู่ภายใน เรียกว่า วัฏภาคภายนอก (external or continuous phase) (พิมพ์พร, 2540)

รูปแบบนี้เป็นรูปแบบที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่าง ๆ โดยส่วนใหญ่วัสดุจะทำได้ด้วยโลหะที่ทำมาจากเหล็ก มักใช้เครื่องกลึง เจาะ เซาะหรือเฉือนเนื้อโลหะ เพื่อให้ชิ้นงานมีรูปร่างตามที่ได้ออกแบบไว้ ในขณะที่กลึง เจาะหรือเซาะชิ้นงานจะมีการเสียดสีระหว่างใบมีดกับชิ้นงาน ก่อให้เกิดความร้อนขึ้นสูงมาก ดังนั้นน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ (Soluble Cutting Oil) จึงนำมาใช้เพื่อทำหน้าที่หลักในการระบายความร้อนและหล่อลื่นชิ้นงาน นอกจากนี้ยังช่วยทำหน้าที่ในการพัดพาเศษโลหะ รวมถึงการป้องกันการเกิดสนิมบนชิ้นงานอีกด้วย

2.3.4. น้ำมันลอยบนผิวน้ำ (เป็นฟิล์ม) เนื่องจากความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ น้ำมันจึงลอยอยู่บนน้ำเป็นฝ้าหรือเป็นฟิล์มมักเป็นโมเลกุลเดี่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันที่มีความหนืดต่ำ ซึ่งขวางกั้นการถ่ายเทออกซิเจนหรือรังสีแสงที่จะผ่านลงไปใต้น้ำ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zhu และคณะ (1997) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแผ่นโลหะซึ่งน้ำเสียประกอบด้วยไขมัน และ mineral oil เป็นส่วนใหญ่ โดยการใช้สารพอลิเมอร์ ในการขจัดไขมัน น้ำมันและสารแขวนลอย โดยแบ่งการใช้งานเป็น 2 ระบบ คือ ระบบสารพอลิเมอร์เดี่ยว (single polymer system) ซึ่งใช้เฉพาะชนิดแคทไอออนิกเป็นโคเอกกูแลนต์ และระบบสารพอลิเมอร์คู่ (dual polymer system) ซึ่งใช้ชนิดแคทไอออนิกในการทำลายอิมัลชันและใช้ชนิดแอนไอออนิกในการเพิ่มการเกิดโคเอกกูแลชั่น พบว่าทั้งสองระบบให้ประสิทธิภาพการขจัดน้ำมัน ไขมันและสารแขวนลอยสูงถึง 99 % จากน้ำเสียที่มีน้ำมันอยู่ในช่วง 1,080 – 3,271 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร และสารแขวนลอยในปริมาณ 200 – 1,500 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร

Pongstabodee และคณะ (1998) ทำการศึกษาการขจัดออร์โธไดคลอโรเบนซีนออกจากน้ำโดยทำการศึกษากการเกิดไมโครอิมัลชันของสารลดแรงตึงผิว ในการเกิดสภาวะวินเซอร์แบบที่หนึ่งไปสู่สภาวะวินเซอร์แบบที่สาม พบว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวกมีประสิทธิภาพการขจัดสูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวที่เป็นประจุลบ และพบว่าที่สภาวะวินเซอร์แบบที่สาม ระบบเมื่อทำให้เป็นฟองลอยมีประสิทธิภาพการแยกสารสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะดังกล่าวมีค่าแรงตึงผิวต่ำสุด เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงในน้ำภายใต้สภาวะที่เหมาะสมและที่ความเข้มข้นเหนือจุด CMC สารลดแรงตึงผิวจะรวมตัวเกิดเป็นไมเซลล์ซึ่งสามารถละลายสารน้ำมัน และสามารถเพิ่มการละลายของสารน้ำมันในน้ำได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการขจัดสารน้ำมัน ได้แก่ อัตราการเป่าอากาศ ขนาดของฟองอากาศ ความหนาแน่นของหยดน้ำมัน รวมถึงความเข้มข้นของสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่เติม

อโณชา เกตุเวชช์ (1998) หาสภาวะการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัดน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมันโดยระบบฟองลอย สารเคมีที่ใช้ในการศึกษา แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สารลดแรงตึงผิวและสารโคแอกกูแลนต์ โดยสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (เอสดีเอส) โดเดซิลไทรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (ดีทีเอบี) และโนนิลฟีนอลเอทอกซีเลต (ทีอีอาร์ไอซี เอ็น 10) สารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ได้แก่ แคทไอออนิกพอลิอิเล็กโทรไลต์ (โนวัส ซีอี 2680 พอลิเมอร์ 1192 และพอลิเมอร์ 1154 แอล) แอนไอออนิกพอลิอิเล็กโทรไลต์ (เคมิฟลอค วีเอช 1007) นอนไอออนิกพอลิอิเล็กโทรไลต์ (เคมิฟลอค 720) และเกลือเฟอริกคลอไรด์ จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการแยกน้ำมันขึ้นอยู่กับเวลาเก็บกัก อัตราการเป่าอากาศ ชนิดและความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ โดยสารแคทไอออนิกพอลิอิเล็กโทรไลต์ (โนวัส ซีอี 2680) ให้ประสิทธิภาพการแยกน้ำมันสูงสุดถึง 100 % สภาวะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน ได้แก่ เวลาเก็บกัก 30 นาที อัตราการเป่าอากาศเท่ากับ $5.55 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3$ ของเหลว-วินาที เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันของระบบฟองลอยแบบคอลลัมน์กับแบบถัง พบว่าแบบคอลลัมน์ให้ประสิทธิภาพการแยกน้ำมันสูงกว่าแบบถังอย่างมาก

Al-Shamrani และคณะ (2002) ทำการศึกษาน้ำที่ของออลูมิเนียมและเฟอริกซัลเฟต ซึ่งเป็นตัวทำลายความเสถียรของอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ที่มีความเสถียรจากสารลดแรงตึงผิวชนิดนอนไอออนิก (Span 20) เป็นการศึกษาในขอบเขตของการขจัดน้ำมัน โดยพิจารณาผลของการเติมคอกกูแลนต์ (coagulant), ค่า pH, ช่วงระยะเวลา และความรุนแรงของการผสมทั้งช้าและเร็ว การวัด electrokinetic แสดงให้เห็นว่าหยดน้ำมันมีค่าซีต้าโพเทนเชียลเป็นลบ (negative zeta potential) ทำให้ pH มีผลน้อยมาก การเลือกคอกกูแลนต์ มีผลต่อการลดลงของค่าซีต้าโพเทนเชียลของหยดน้ำมัน สำหรับออลูมิเนียมซัลเฟต ที่ pH 8 ขจัดน้ำมันได้ 99.3 % และ เฟอริกซัลเฟต ที่

pH 7 ขจัดน้ำมันได้ 99.94% ในการแยกด้วยวิธี DAF ค่าที่เหมาะสมของ rapid mixing times คือ 120 วินาที และ flocculation times อยู่ในช่วง 15 ถึง 20 นาที สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยความเร็วในการผสมค่อนข้างต่ำสำหรับคอกกูเลชัน และฟลอคคูเลชัน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงาน

Moosai และคณะ (2003) ทำการศึกษาการขจัดน้ำมันออกจากน้ำเสียโดยวิธีก๊าซโฟลเทชัน ถ้าดำเนินการที่สภาวะที่เหมาะสมสามารถลดความเข้มข้นของน้ำมันได้ต่ำถึง 40 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร วิธีนี้มีประโยชน์มากสำหรับน้ำมันหนัก (heavy oil) ที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำ โดยอาศัยแรงยึดเกาะระหว่างฟองอากาศกับหยดน้ำมันที่กระจายตัวอยู่ การยึดเกาะที่แข็งแรงขึ้นกับ กระบวนการที่ซับซ้อน รวมทั้งลักษณะเฉพาะของผิวหน้าของหยดน้ำมัน และแรงที่กระทำกับก๊าซ กลไกการยึดเกาะประกอบด้วยการสัมผัสระหว่างน้ำมันกับก๊าซ, แรงที่กระทำกับสารเคมีที่เติมลงไป (โดยทั่วไปเป็นสารลดแรงตึงผิว) ซึ่งมันจะช่วยในการสัมผัสกันและการกระจายตัวของหยดน้ำมันรอบฟองก๊าซ โดยเริ่มจากการที่ทำให้หยดน้ำมันอิมัลชันจับตัวกันเป็นก้อนให้ได้ขนาดที่เหมาะสมในการขจัดโดยวิธีนี้ประมาณ 60 ไมโครเมตร และส่วนที่สำคัญของงานวิจัยนี้ คือ อธิบายถึงการยึดเกาะของก๊าซกับหยดน้ำมัน, การเลือกใช้สารลดแรงตึงผิว รวมถึงการกระจายของหยดน้ำมันรอบฟองก๊าซ ซึ่งมีผลสำหรับก๊าซโฟลเทชัน

Grattoni และคณะ (2003) ทำการศึกษาการขจัดน้ำมันด้วยวิธีก๊าซโฟลเทชัน ประเด็นสำคัญอยู่ที่การเกาะติดของฟองก๊าซกับหยดน้ำมัน การกระจาย (spreading) ของน้ำมันบนก๊าซมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการลอยขึ้นของฟอง - น้ำมัน ดังนั้นการกระจายตัวและไม่กระจายตัวของน้ำมัน จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของรูปร่างของไหล และเสถียรภาพของฟองที่ลอยขึ้น และสัมประสิทธิ์การกระจายตัวที่มีค่าเป็นบวกของน้ำมันที่อยู่ระหว่างผิวของน้ำ - ก๊าซ ทำให้เกิดการกระจายตัวขึ้น งานวิจัยนี้มีการถ่ายภาพให้เห็นลักษณะของการกระจายของน้ำมันรอบฟองก๊าซ ความสำคัญของสัมประสิทธิ์การกระจายตัวที่มีค่าเป็นบวกของน้ำมันรอบฟองก๊าซสำหรับวิธีก๊าซโฟลเทชัน

Melo และคณะ (2003) ทำการศึกษาพัฒนาวิธีการรักษาน้ำที่มีการปนเปื้อนอย่างรุนแรงจากน้ำมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบควรมีประสิทธิภาพสูงในการขจัดน้ำมันแม้ว่าภายใต้เงื่อนไขที่ไม่เหมาะสม เมื่อน้ำมันที่กระจายในน้ำมีขนาดเล็ก อยู่ในช่วง 5 – 30 มิลลิเมตร และความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 100 – 300 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร การทดลองแรกใช้ระบบอินดิวิชแอริโฟลเทชัน โดยที่สมรรถนะของโฟลเทชันคอลัมน์หาค่าใน batch และเดินเครื่องอย่างต่อเนื่อง การทดลองที่สองทำโดยการรวมสองระบบไว้ด้วยกัน คือ การแยกโดยแรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลาง (centrifugal separation) ในไฮโดรไซโคลอน (hydrocyclone) และใช้โฟลเทชัน ศึกษาผลจากการรวมกันของ

สองระบบ (centrifugal flotation system) การทำให้เกิดฟอง และการสัมผัสกันของหยดน้ำมันกับฟอง โดยเครื่องพ่นก๊าซ - ของเหลว ในขณะที่การแยกของน้ำมัน (froth phase) เกิดจากไฮโดรไซโคลอน พบว่าทั้งสองระบบมีความเป็นไปได้ในการลด COD มากกว่า 85 % และความเข้มข้นของน้ำมันของอิมัลชันที่มีหยดขนาดระหว่าง 10 และ 20 มิลลิเมตร โดยใช้ โพลีอะโซลามาายด์เป็นตัวทำลายเสถียรภาพ (destabilizing agent)

จากงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องนี้แสดงให้เห็นทราบว่า น้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนั้น แม้อยู่ในรูปอิมัลชัน แต่ก็มีอิมัลชันที่มีความเสถียรสูง อิมัลชันที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำมันอิมัลชันที่มีความเสถียรมาก นั่นคือ น้ำมันหล่อเย็นที่ใช้ตัด และ กิ่งโลหะ (Soluble Cutting Oil) ที่ยากแก่การขจัด และก่อเกิดปัญหาแก่ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้น้ำเสียทั้งหมดในโรงงานเป็นอย่างมาก โดยจะยึดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุ ไม่มีประจุ ผลของอัตราส่วนผสมของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองประเภท ผลของชนิดและความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ ความเป็นกรดเบส อัตราการไหลของอากาศ ความเข้มข้นของน้ำมัน ขนาดของฟองอากาศ เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงสารเคมีทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย และวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารลดแรงตึงผิว

โพลีออกซีเอทิลลีนซอบิทันโมโนโอเลต (Poly(oxyethylene)(20)-sorbitane monooleate, Tween 80, $C_{64}H_{124}O_{27}$) เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่มีประจุ (Nonionic Surfactant) ของบริษัท Kao Corporation, Japan มีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 97 %

เฮกซะเดคซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Hexadecyltrimethylammonium bromide, CTAB, $C_{19}H_{42}BrN$) เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic Surfactant) ของบริษัท Fluka, Switzerland โดยส่วนหัวเป็นสารประกอบประเภทควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่มีประจุบวก มีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 98 %

โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium Dodecyl Sulphate, SDS, $CH_3(CH_2)_{11}OSO_3Na$) เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic Surfactant) ของบริษัท Ajax Finechem, Australia โดยส่วนหัวเป็นกลุ่มซัลเฟตที่มีประจุลบ และส่วนหางเป็นอัลคิลเซนที่มีคาร์บอน 12 ตัว มีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 96 %

3.1.2 อีเล็กโทรไลต์

สารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นพวกเกลือซัลเฟต ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต (Aluminium sulphate, $Al_2(SO_4)_3$) ของบริษัท Asia Pacific Specialty มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.99 % และ โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate, $Na_2(SO_4)$) ของบริษัท Fisher Scientific มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.50 %

3.1.3 น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ (Soluble Cutting Oil)

น้ำมันที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำสำหรับตัด กลึง โลหะ (Soluble Cutting Oil) จากบริษัท บีโตรเลียมแห่งประเทศไทย จำกัด (ปตท.) ลักษณะภายนอกเป็นของเหลวใส สีน้ำตาลเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ก น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ๆ 4 ส่วน ดังนี้ น้ำมันพื้นฐาน (Mineral Oil) ทำหน้าที่ในการหล่อลื่นชิ้นงาน น้ำ ทำหน้าที่ในการระบายความร้อน สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ทำหน้าที่ให้น้ำมันผสมกับน้ำ น้ำมันพื้นฐานได้ดี สารเพิ่มคุณภาพ (Additive) ทำหน้าที่ลดแรงเสียดทานและป้องกันสนิม และสารกันเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งเมื่อเอาน้ำมันชนิดนี้ผสมกับน้ำจะได้อิมัลชันที่มีความเสถียรอย่างมาก โดยอนุภาคของน้ำมันซึ่งเป็นวัฏภาคภายในจะมีขนาดเล็กมาก โดยจะแทรกตัวอยู่ในอนุภาคของน้ำซึ่งเป็นวัฏภาคภายนอก ลักษณะของอิมัลชันจะของเหลวสีขาวขุ่น ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ข

ก.



ข.



รูปที่ 3.1 ก. น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำสำหรับตัด กลึง โลหะ

ข. น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย

3.1.4 สารเคมีอื่นๆ

สารเคมีอื่นๆ ที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นเกรดที่ใช้ในการวิเคราะห์ (analytical grade) ได้แก่

กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) ของบริษัท CARLO ERBA Quality Science 1853 และมีความบริสุทธิ์ 36.5 %

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ของบริษัท BDH Analar และมีความบริสุทธิ์ 99 %

3.1.5 น้ำกลั่น

น้ำกลั่นที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำกลั่นที่ผ่านกระบวนการรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) โดยใช้เครื่องของบริษัท แบนเทรคดิง 1992 จำกัด รุ่น OS007BPM1

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การหาค่าความเข้มข้นวิกฤตของสารลดแรงตึงผิว

เตรียมสารละลายของสารลดแรงตึงผิวที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน แล้วนำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดค่าแรงตึงผิว แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายของสารลดแรงตึงผิวกับค่าแรงตึงผิว เพื่อหาค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (critical micelle concentration, CMC) ของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด

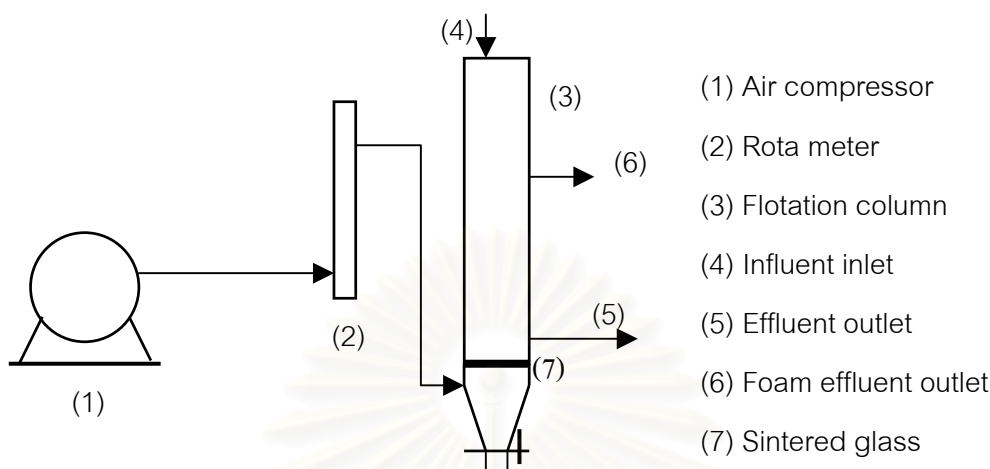
3.2.2 การสังเคราะห์น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย

นำน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำในปริมาณที่ต้องการใส่ลงในน้ำกลั่น โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 500 และ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วเติมสารลดแรงตึงผิวตามระดับความเข้มข้นที่ต้องการ แล้วนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่น (motor stirrer) ที่ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาทีเพื่อให้แน่ใจว่าน้ำมันได้กระจายตัวทั่วตลอดทุกส่วน ลักษณะอิมัลชันที่ได้จะเป็นของเหลวสีขาวขุ่น

3.2.3 การขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียด้วยระบบอินดิวิชแอรีโพลเทชัน

ระบบอินดิวิชแอรีโพลเทชันที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ถูกออกแบบให้มีลักษณะการใช้งานง่ายและการบำรุงรักษาต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยระบบทดลองประกอบด้วยคอลัมน์ทำด้วยแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 120 ซม. ท่อน้ำออกสามารถปรับเลื่อนขึ้นลงเพื่อให้ฟองออกได้อย่างสะดวก อากาศจะถูกป้อนจากเครื่องปั๊มอากาศและถูกควบคุมอัตราการไหลด้วยโรตารีมิเตอร์ แล้วจึงไหลผ่านแผ่นกระจายอากาศ (Sintered Glass) ที่ฐานของคอลัมน์โพลเทชัน น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.2.2 ปริมาณ 500 มิลลิลิตร จะถูกถ่ายสู่ด้านบนของคอลัมน์โพลเทชัน ส่วนของฟองที่เกิดขึ้นจะไหลล้นออกทางท่อที่ส่วนบนของคอลัมน์ โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ฐานทางออกของคอลัมน์ ที่เวลา 2, 5, 10, 20 และ 30 นาที โดยเก็บตัวอย่างครั้งละประมาณ 5 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันอิมัลชันที่

เหลือด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer นอกจากนี้ยังนำไปวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่อง Turbidimeter เพื่อนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมันและเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่น



รูปที่ 3.2 แผนผังอุปกรณ์ทดลองระบบอินดิทซ์แอร์โฟลเทชัน

3.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

3.3.1 ชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว

ในงานวิจัยนี้มีการใช้สารลดแรงตึงผิวหลายชนิด ได้แก่ SDS, CTAB, Tween 80 และใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) (5 : 5) และ (8 : 2)

3.3.2 ชนิดและความเข้มข้นของอิเล็คโทรไลต์

อิเล็คโทรไลต์ที่ใช้มี 2 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต (Aluminium sulphate, $Al_2(SO_4)_3$) และ โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate, $Na_2(SO_4)$) โดยเติมอิเล็คโทรไลต์ที่ความเข้มข้นที่ต้องการลงในน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย นำอิมัลชันที่เติมอิเล็คโทรไลต์แล้วไปผสมโดยใช้เครื่องปั่น (motor stirrer) ที่ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 นาที ปรับค่าความเป็นกรด-เบส ตามที่ต้องการ และกวนอย่างช้าๆ โดยใช้ mechanical magnetic stirrer ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที

3.3.3 ค่าความเป็นกรด – เบส

เพื่อต้องการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด – เบส โดยทำการศึกษาค่าความเป็นกรด – เบส ในช่วง 4 – 9 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)

3.3.4 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสี้ยว

ความเข้มข้นของน้ำมันที่ใช้ในการศึกษามี 2 ระดับ คือ 500 และ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.3.5 ขนาดของฟองอากาศ

ขนาดของฟองอากาศจะถูกควบคุมด้วยแผ่นกระจายอากาศ โดยมีแผ่นกระจายอากาศ 2 ช่วง คือ ขนาดรูพรุน 40 – 100 ไมโครเมตร ทำให้ฟองขนาด 615 – 688 ไมโครเมตร และขนาดรูพรุน 100 – 160 ไมโครเมตร ทำให้ฟองขนาด 896 – 1,168 ไมโครเมตร

3.3.6 อัตราการไหลของอากาศ

โดยอัตราการไหลของอากาศถูกควบคุมด้วยโรตารีมิเตอร์ ที่อัตราการไหลต่างๆ ดังนี้ 4, 8, 14 และ 25 มิลลิเมตรต่อวินาที

ขณะที่ทำการศึกษาค่าผลของตัวแปรใด ตัวแปรอื่นๆ จะถูกควบคุมให้คงที่ และจากการศึกษาค่าผลดังกล่าวข้างต้นจะทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสี้ยว โดยอินดิคเตอร์ฟลูออเรสเซนซ์ นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบผลของชนิดของสารลดแรงตึงผิวและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่อระบบอินดิคเตอร์ฟลูออเรสเซนซ์ นอกจากนี้ทำการศึกษาค่าตัวแปรต่างๆ ในงานวิจัยนี้ ยังทำการวัดค่า Zeta potential ซึ่งเป็นการวัดค่าประจุของน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสี้ยว เพื่อนำข้อมูลมาสนับสนุนผลของการขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสี้ยว

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทำงานวิจัย

3.4.1 เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer

เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer ของบริษัท Analytical Lab Science Co.,Ltd., Thailand รุ่น V-530(PC) ใช้สำหรับการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำก่อนและหลังการบำบัด โดยใช้ความยาวคลื่นที่ 353 nm

3.4.2 เครื่อง Turbidimeter

เครื่อง Turbidimeter ของบริษัท Orbeco-Hellige รุ่น Digital Direct-Reading ใช้สำหรับการวัดค่าความขุ่น (Turbidity) ของน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำก่อนและหลังการบำบัด

3.4.3 เครื่อง Zeta meter

เครื่อง Zeta meter รุ่น System 3.0+ ผลิตในประเทศไทย ใช้สำหรับการวัดค่า zeta potential ของน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย

3.4.4 เครื่อง Tensiometer

เครื่อง Tensiometer ของบริษัท Scientific Promotion (ประเทศไทย) จำกัด รุ่น K8 ใช้สำหรับการวัดค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิว เพื่อนำไปหาค่าความเข้มข้นวิกฤติของการเกิดไมเซลล์ (critical micelle concentration, CMC)

3.4.5 เครื่อง pH meter

เครื่อง pH meter ของบริษัท Scientific Promotion (ประเทศไทย) จำกัด รุ่น CG840 ใช้สำหรับการปรับค่าความเป็นกรด – เบส ของน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย

3.4.6 เครื่องปั่น (motor stirrer)

เครื่องปั่น ของบริษัท เบคไทย (ประเทศไทย) จำกัด รุ่น IKA LABORTECHNIK model RW 20N ใช้สำหรับการผสมระหว่างสารเคมีต่างๆกับน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย

3.4.7 เครื่อง mechanical magnetic stirrer

mechanical magnetic stirrer ของบริษัท Scientific Promotion (ประเทศไทย) จำกัด model SLR ใช้สำหรับการกวนซ้ำเพื่อให้ไขมันที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วมารวมตัวกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

3.4.8 กล้องจุลทรรศน์และกล้องถ่ายภาพ

กล้องจุลทรรศน์ ของบริษัท OLYMPUS รุ่น BH-2-UMA ใช้สำหรับหาขนาดของหยดน้ำมัน และถ่ายภาพด้วยกล้องของบริษัท OLYMPUS รุ่น C-35AD-4

3.4.9 กล้องถ่ายภาพ (CCD)

กล้องถ่ายภาพ CCD ของบริษัท รุ่น ใช้สำหรับหาขนาดของฟองอากาศ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ค่าความเข้มข้นวิกฤตของสารลดแรงตึงผิว

ตามที่อธิบายในบทที่ 2 ถึงพฤติกรรมของสารลดแรงตึงผิว ณ จุดความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (critical micelle concentration, CMC) จึงจำเป็นต้องทราบค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ Tween 80 CTAB SDS สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) (5 : 5) และ (8 : 2) ซึ่งอธิบายผลในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (critical micelle concentration, CMC) ของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว	ค่าแรงตึงผิว (dyne/cm) ณ จุด CMC	ค่าซีเอ็มซี (CMC)(โมลาร์)
Tween 80	46	0.000012
CTAB:Tween 80 (2:8)	44	0.000018
CTAB:Tween 80 (5:5)	42	0.000028
CTAB:Tween 80 (8:2)	40	0.000065
CTAB	36	0.00092
SDS	30	0.0082

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดจะให้ค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ที่แตกต่างกัน นั่นก็หมายความว่าความสามารถการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างก็ให้ค่าต่างกัน เป็นที่น่าสังเกตว่าสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 จะให้ค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์อยู่ในช่วงค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ของ Tween 80 กับค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ของ CTAB

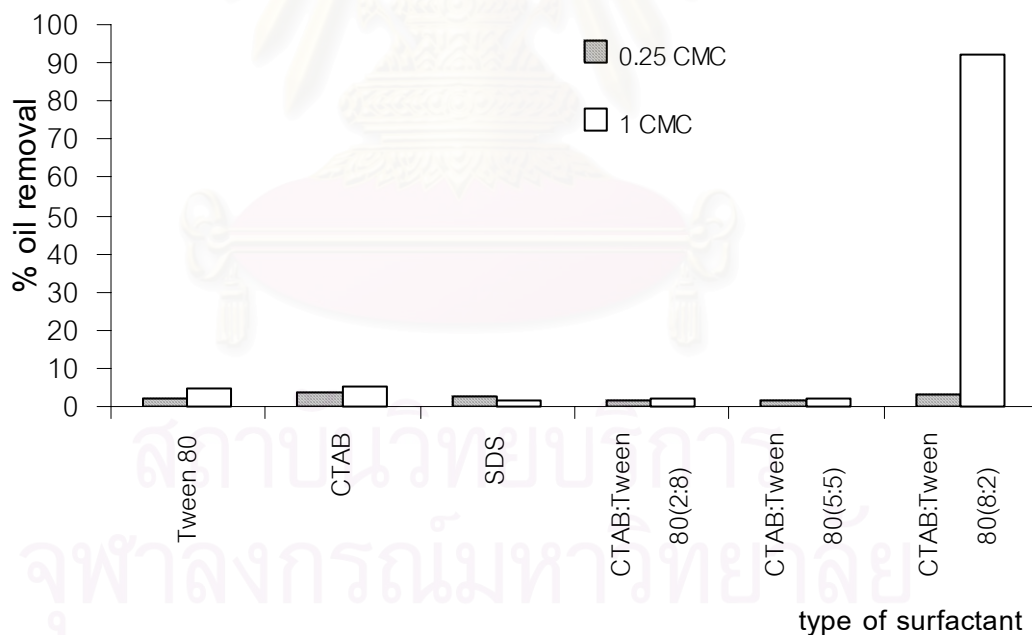
4.2 ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว

น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่มีสารเติมอิมัลซิไฟเออร์ ค่าความเป็นกรด - เบส ที่ 7 ฟองอากาศจะถูกควบคุมด้วยแผ่นกระจายอากาศให้มีขนาด 615 - 688 ไมโครเมตรผ่านเข้าสู่ระบบอินดิวิจอร์โฟลเทชันที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ 8 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 30 นาที โดยจะทำเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมัน และเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นวิเคราะห์หาค่าการขจัดน้ำมัน (% oil removal) และการลดความขุ่น (% turbidity removal)

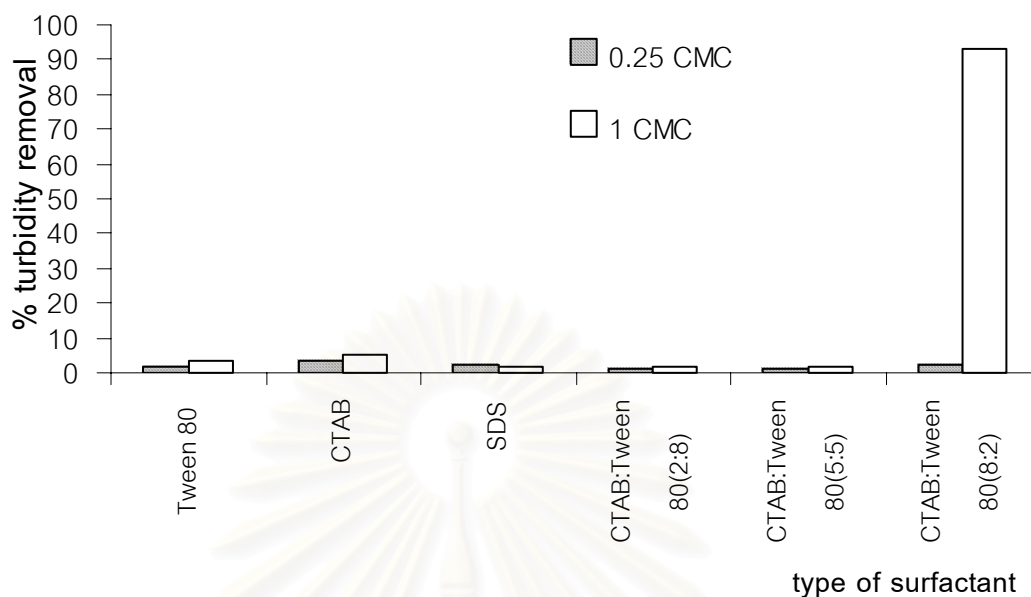
จากการทดลองพบว่า ฟองอากาศจะมีเสถียรภาพมากขึ้นเมื่อมีการเติมสารลดแรงตึงผิว และสามารถเคลื่อนจากฐานสู่ด้านบนของคอลัมน์ได้โดยไม่แตกก่อนที่จะออกจากคอลัมน์โฟลเทชัน (Davies และ Rideal, 1963) ฟองอากาศที่เกิดในระบบอินดิวิจอร์โฟลเทชันมีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นตัวการสำคัญในการพ่น้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชันแยกออกจากน้ำเสีย โดยฟองอากาศจะเข้าไปชนกับหยดน้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชัน จากนั้นจะเกาะกันลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำเสีย และถูกกวาดออกไปในที่สุด (Moosai และ Dawe, 2003)

จากรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.25 CMC และ 1 CMC ต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นตามลำดับ พบว่า เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว Tween 80 CTAB และสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) (5 : 5) และ (8 : 2) ที่ระดับความเข้มข้น 1 CMC พบว่าการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.25 CMC ที่เป็นเช่นนี้เพราะที่ระดับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ 1 CMC สารลดแรงตึงผิวจะเกิดการจัดเรียงตัวเป็นไมเซลล์ (ดังที่เคยอธิบายในบทที่ 2 หัวข้อ 2.2) จึงเป็นเหตุให้หยดน้ำมันแทรกตัวเข้าไปในไมเซลล์ และยังสามารถทำให้ฟองอากาศมีเสถียรภาพไม่แตกง่าย โดยที่ 1 CMC ของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดจะให้ค่าแรงตึงผิวที่เกิดขึ้นต่างๆ กันดังแสดงในตารางที่ 4.1 ยิ่งค่าแรงตึงผิวมีค่าต่ำแสดงว่าสามารถเกิดฟองอากาศได้ง่ายกว่า แต่กรณีเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิว SDS กลับพบว่าการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นเมื่อใช้ SDS ที่ระดับความเข้มข้น 1 CMC ให้ผลต่ำกว่าเมื่อใช้ SDS ที่ระดับความเข้มข้น 0.25 CMC เหตุที่เป็นเช่นนี้

เพราะค่าประจุที่อยู่รอบๆหยดน้ำมัน (zeta potential) (ดังแสดงในตารางที่ 4.2) พบว่าค่าประจุรอบๆ หยดน้ำมันกรณีไม่เติมสารลดแรงตึงผิวใดๆ เลยมีค่าเท่ากับ -179 มิลลิโวลต์ ซึ่งเครื่องหมายลบ หมายถึง ประจุโดยรอบที่ผิวของหยดน้ำมันเป็นลบ เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว SDS ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ก็มีได้ทำให้ค่าประจุรอบหยดน้ำมันน้อยลงเลย แต่กลับทำให้หยดน้ำมันมีความเสถียรขึ้น เกาะรวมตัวกันยาก ถึงแม้จะเติมสารลดแรงตึงผิว SDS ที่ระดับความเข้มข้น 1 CMC ซึ่งทำให้เกิดไมเซลล์ เพื่อให้หยดน้ำมันแทรกเข้าไปในไมเซลล์ แต่ผลกลับมีไว้เช่นนั้นเพราะหยดน้ำมันซึ่งมีประจุบนผิวเป็นลบ และไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว SDS ก็มีประจุเป็นลบ จึงเกิดแรงผลักระหว่างหยดน้ำมันและไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว SDS ทำให้หยดน้ำมันแทรกเข้าไปยังส่วนกลางของไมเซลล์ที่เป็นส่วนที่ชอบน้ำมันไม่ได้ เมื่อลดความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว SDS ลงที่ระดับความเข้มข้น 0.25 CMC กลับพบว่า การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงขึ้นเพราะหยดน้ำมันจะไปเกาะกับส่วนที่ชอบน้ำมันของสารลดแรงตึงผิว SDS ในขณะที่ส่วนที่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิว SDS จะไปเกาะกับผิวของฟองอากาศ จึงลอยขึ้นสู่ผิวด้านบนและออกนอกคอลัมน์ในที่สุด



รูปที่ 4.1 ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.25 CMC และ 1 CMC ต่อการขจัดน้ำมัน กรณีที่ไม่เติมอิเล็กโทรไลต์



รูปที่ 4.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.25 CMC และ 1 CMC ต่อการลดความขุ่น กรณีที่ไม่เติมอิเล็กโทรไลต์

ตารางที่ 4.2 ค่า zeta potential (mV) ของสารลดแรงตึงผิว กรณีที่ไม่เติมอิเล็กโทรไลต์

สารลดแรงตึงผิว	ค่า zeta potential (mV)
ไม่เติมสารลดแรงตึงผิว	-179
Tween 80 (1 CMC)	-178
CTAB (0.25 CMC)	60.7
SDS (0.25 CMC)	-181
CTAB:Tween 80 (2:8) (1 CMC)	-130
CTAB:Tween 80 (5:5) (1 CMC)	-122
CTAB:Tween 80 (8:2) (1 CMC)	-31.4

เป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (8 : 2) จะให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวอื่นๆ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก Tween 80 ได้เข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่าง CTAB อย่างเหมาะสมเปรียบเสมือนเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-Surfactant) ให้กับ CTAB จึงทำให้หยดน้ำมันเข้าไปแทรกในไมเซลล์ได้มากขึ้นและยึดเกาะกับฟองอากาศได้ดีจึงทำให้หยดน้ำมันถูกขจัดได้มาก (Jorge และคณะ, 2003)

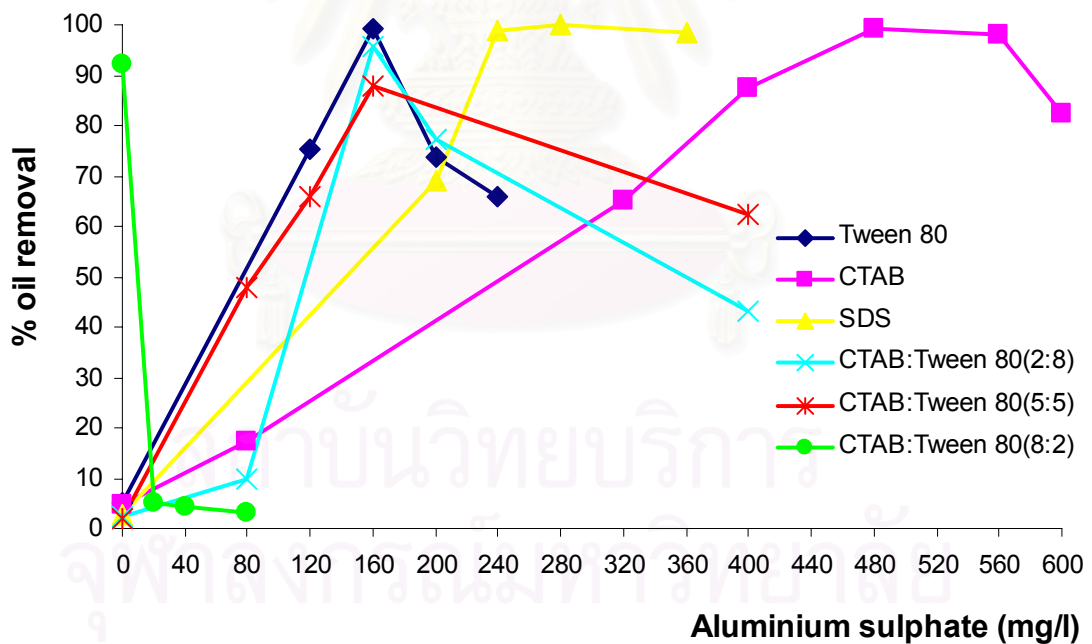
เพื่อศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดงานวิจัยนี้จึงเลือกความเข้มข้นของ CTAB และ SDS ที่ให้ค่าแรงตึงผิวเท่ากับที่ระดับความเข้มข้น 1 CMC ของ Tween 80 คือ ที่ระดับความเข้มข้น 0.25 CMC (ดูภาคผนวก ข) พบว่า SDS ที่ระดับความเข้มข้น 0.25 CMC มีค่าแรงตึงผิวประมาณ 42 – 44 dyne/cm และ CTAB ที่ระดับความเข้มข้น 0.25 CMC มีค่าแรงตึงผิวประมาณ 42 – 44 dyne/cm ดังนั้นการทดลองต่อไปจะใช้ความเข้มข้นของ Tween 80 และ สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB และ Tween 80 ที่ระดับความเข้มข้น 1 CMC ส่วน CTAB และ SDS จะใช้ที่ระดับความเข้มข้น 0.25 CMC

4.3 ชนิดและความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์

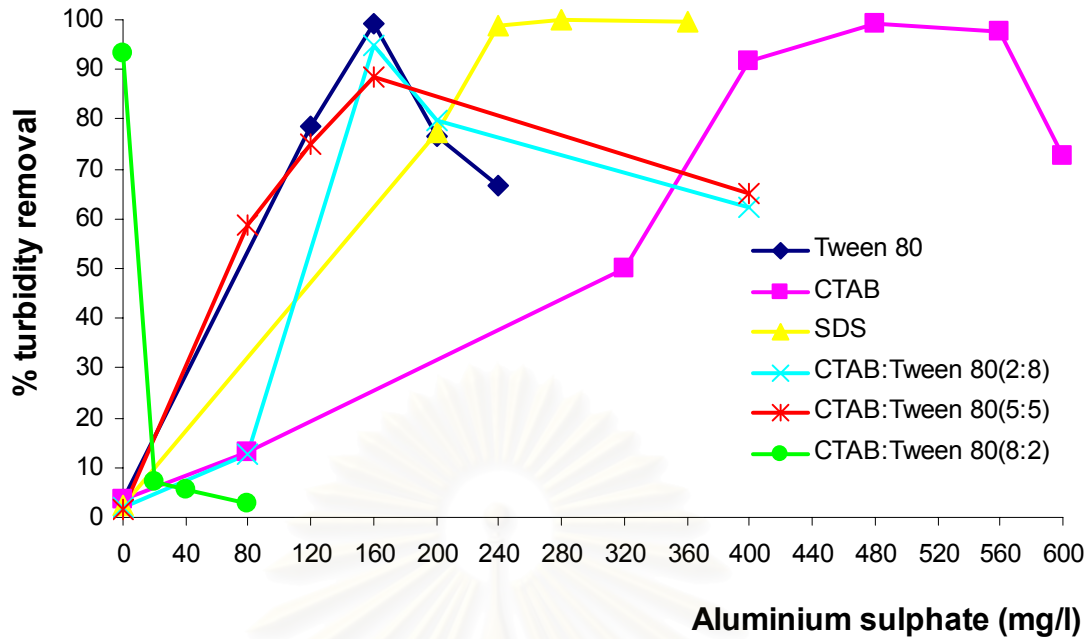
4.3.1 ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์

เมื่อน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่มีอลูมิเนียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ผ่านเข้าสู่คอลัมน์โพลเทชันที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ 8 มิลลิตรต่อวินาที ค่าความเป็นกรด – เบส ที่ 7 ยกเว้นเมื่อใช้ SDS ค่าความเป็นกรด – เบส ที่ 4 เป็นค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.4 ฟองอากาศจะถูกควบคุมด้วยแผ่นกระจายอากาศให้มีขนาด 615 – 688 ไมโครเมตร โดยจะทำการวิเคราะห์หาค่าการขจัดน้ำมัน (% oil removal) และการลดความขุ่น (% turbidity removal) หลังจากอยู่ในคอลัมน์โพลเทชันนาน 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงผลของอลูมิเนียมซัลเฟต ต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ตามลำดับ จากการทดลอง กรณีที่ใช้ Tween 80 พบว่าเมื่อเติมอลูมิเนียมซัลเฟตลงในน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย อลูมิเนียมซัลเฟตจะแตกตัวให้อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์โดยออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะไปทำลายเสถียรภาพของอิมัลชัน (Al-Shamrani และ คณะ, 2002) ทำให้หยดน้ำมันเคลื่อนที่เข้าหากัน เกิดการรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นง่ายต่อการชนและเกาะติดกับฟองอากาศแล้วลอยขึ้นสู่ผิวแยกออกจากน้ำเสีย จึงทำให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงกว่าในกรณีที่ไม่มีเติมอลูมิเนียมซัลเฟต เมื่อเพิ่มความเข้มข้น

ของออลูมิเนียมซัลเฟตการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นจะสูงขึ้นด้วยจนถึงจุดจุดหนึ่ง ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของออลูมิเนียมซัลเฟตมากขึ้นกว่าจุดจุดนี้ จะเห็นว่าการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นเริ่มต่ำลงเนื่องจากประจุบวกจากออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ทำให้อิมัลชันที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วกลับมาเสถียรภาพอีกครั้ง ในกรณีที่ใช้ CTAB และ SDS และ สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) (5 : 5) ให้ผลเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้ Tween 80 ยกเว้นกรณีที่ใช้ สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (8 : 2) กรณีที่ไม่เติมออลูมิเนียมซัลเฟตจะให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงกว่ากรณีที่เติมออลูมิเนียมซัลเฟต เนื่องจาก Tween 80 สามารถแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของ CTAB อย่างเหมาะสมเปรียบเสมือนเป็น สารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-Surfactant) ให้กับ CTAB จึงทำให้หยดน้ำมันเข้าไปแทรกในไมเซลล์ได้มากขึ้นและยึดเกาะกับฟองอากาศได้ดีจึงทำให้หยดน้ำมันถูกขจัดได้มาก แต่เมื่อเติมออลูมิเนียมซัลเฟตการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นลดลงเนื่องจากประจุบวกจากออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ทำให้ อิมัลชันที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วกลับมาเสถียรภาพอีกครั้ง เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวต่างกันก็จะส่งผลถึงระดับความเข้มข้นของออลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นต่างกันด้วย



รูปที่ 4.3 ผลของออลูมิเนียมซัลเฟตต่อการขจัดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ

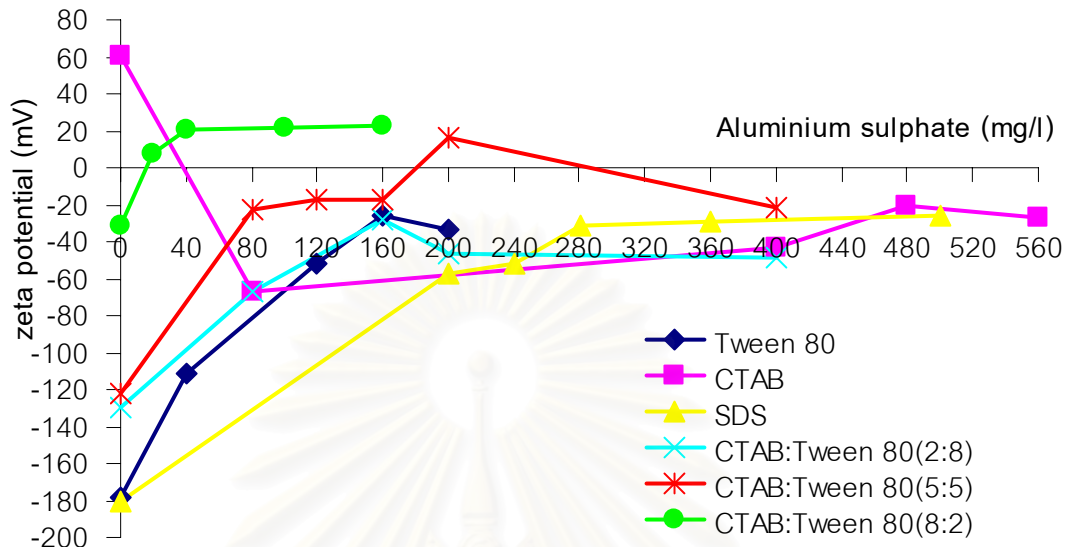


รูปที่ 4.4 ผลของออลูมิเนียมซัลเฟตต่อการลดความขุ่น เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ

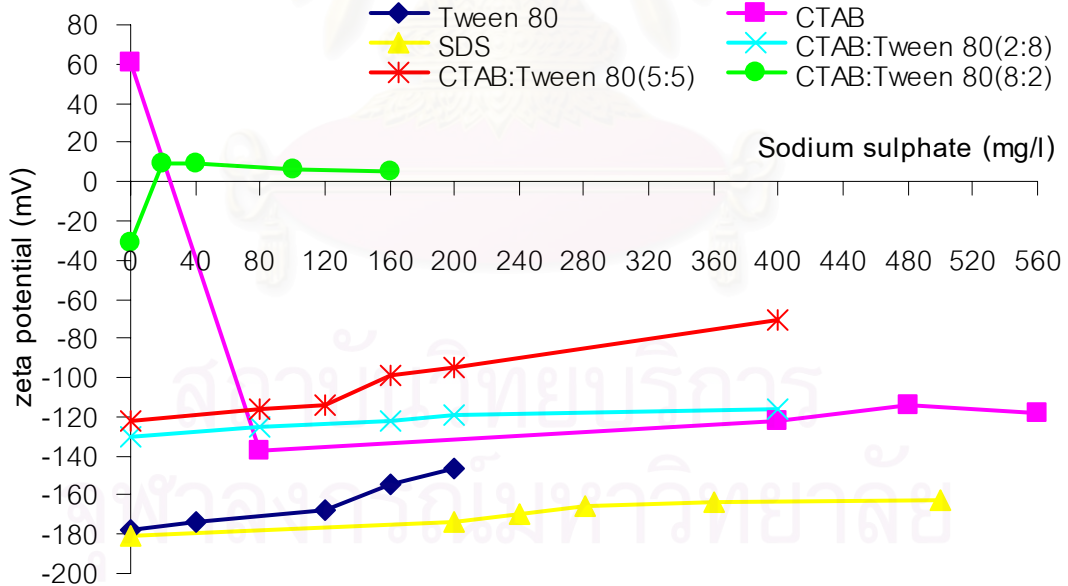
เมื่อพิจารณาค่าประจุที่ผิวรอบหยดน้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชัน หรือค่า zeta potential พบว่ามีค่าประจุที่ผิวรอบหยดน้ำมันที่ -179 มิลลิโวลต์ โดยเครื่องหมายลบบ่งบอกถึงประจุลบนั่นเอง ค่าประจุยิ่งมีค่ามากก็จะทำให้แรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างหยดน้ำมันด้วยตัวเองและระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศมีค่ามากด้วย เป็นสาเหตุให้อิมัลชันมีความเสถียรมาก (Al-Shamrani และ คณะ, 2002) ส่งผลให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นมีค่าน้อยเมื่อไม่เติมออลูมิเนียมซัลเฟต และเมื่อเติมออลูมิเนียมซัลเฟตเพิ่มขึ้น ค่า zeta potential เข้าสู่ศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ทำให้แรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) ระหว่างหยดน้ำมันด้วยตัวเองและระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศมีค่าน้อย ฉะนั้นหยดน้ำมันจึงรวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถเกาะติดกับฟองอากาศได้ดี เมื่อเติมออลูมิเนียมซัลเฟตอีกจะพบว่าค่า zeta potential มีค่าเป็นลบมากขึ้นอีก ทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพอีกครั้ง

เมื่อพิจารณาผลของออลูมิเนียมซัลเฟตต่อชนิดของสารลดแรงตึงผิวจะเห็นได้ว่า ออลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมต่อสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ จะแตกต่างกันคือ เมื่อใช้ Tween 80 ความเข้มข้นของออลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ CTAB ความเข้มข้นของออลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 480 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ SDS ความเข้มข้นของออลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 280 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) ความเข้มข้นของออลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่

อัตราส่วน (5 : 5) ความเข้มข้นของอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ที่อัตราส่วน (8 : 2) กรณีนี้พบว่าไม่ต้องเติมอลูมิเนียมซัลเฟต



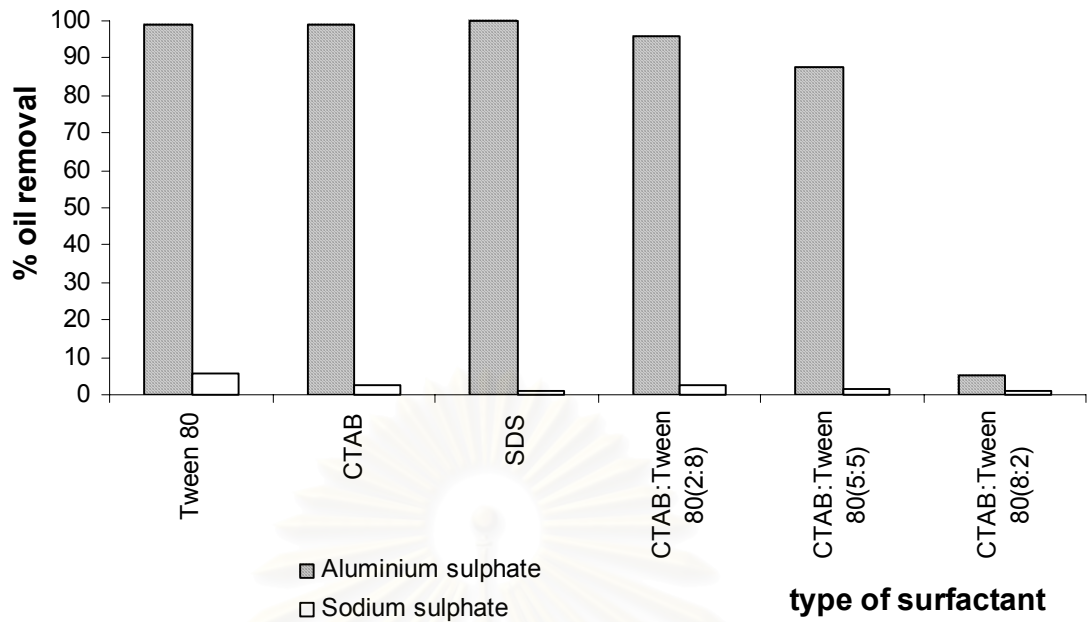
รูปที่ 4.5 ผลของอลูมิเนียมซัลเฟตต่อประจุรอบหยดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ



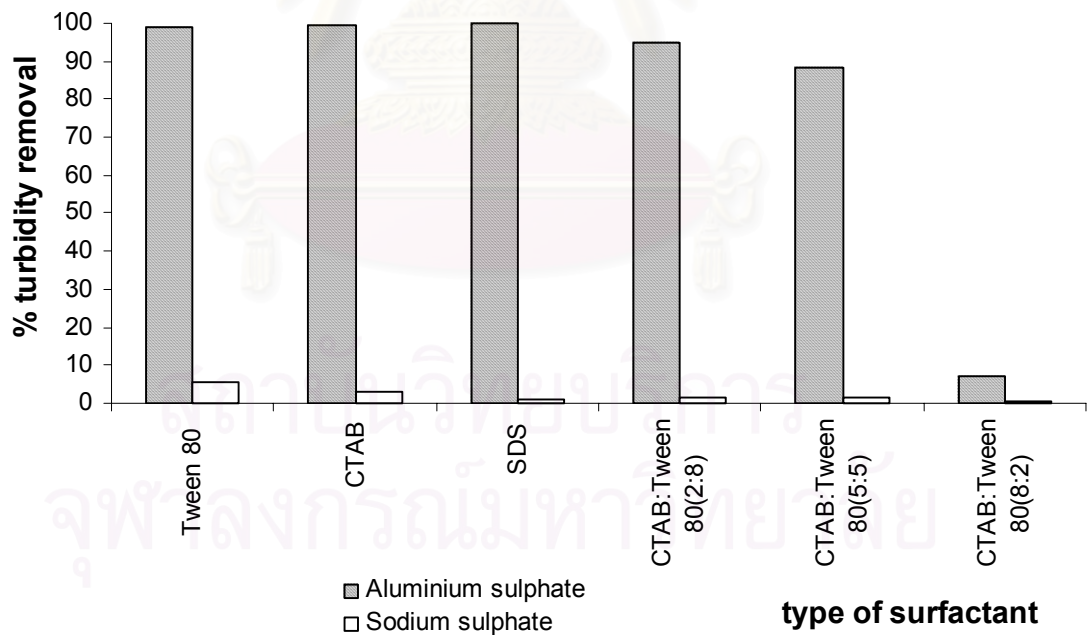
รูปที่ 4.6 ผลของโซเดียมซัลเฟตต่อประจุรอบหยดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ

4.3.2 ชนิดของอิเล็กโทรไลต์

เมื่อพิจารณาชนิดของอิเล็กโทรไลต์ โดยในที่นี้คือขบวนการออลูมิเนียมซัลเฟตเทียบกับโซเดียมซัลเฟต โดยเมื่อใช้ Tween 80 ความเข้มข้นของออลูมิเนียมซัลเฟตและโซเดียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ CTAB ความเข้มข้นของออลูมิเนียมซัลเฟตและโซเดียมซัลเฟตที่เติมคือ 480 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ SDS ความเข้มข้นของออลูมิเนียมซัลเฟตและโซเดียมซัลเฟตที่เติมคือ 280 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) ปริมาณออลูมิเนียมซัลเฟตและโซเดียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วน (5 : 5) ปริมาณออลูมิเนียมซัลเฟตและโซเดียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ที่อัตราส่วน (8 : 2) ปริมาณออลูมิเนียมซัลเฟตและโซเดียมซัลเฟตที่เติมคือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด – เบส ที่ 7 ยกเว้นเมื่อใช้ SDS ค่าความเป็นกรด – เบส ที่ 4 เป็นค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.4 ฟองอากาศจะถูกควบคุมด้วยแผ่นกระจายอากาศให้มีขนาด 615 – 688 ไมโครเมตร ผ่านเข้าสู่ระบบอินดิคซ์แอร์โฟลเทชันที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ 8 มิลลิลิตรต่อวินาที เป็นเวลา 30 นาที โดยจะทำการวิเคราะห์หาค่าการขจัดน้ำมัน (% oil removal) และการลดความขุ่น (% turbidity removal) กรณีที่ใช้ Tween 80 พบว่าที่ความเข้มข้นของออลูมิเนียมซัลเฟตและโซเดียมซัลเฟตเท่ากัน การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นเมื่อเติมออลูมิเนียมซัลเฟตมีค่ามากกว่าเมื่อเติมโซเดียมซัลเฟต ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงผลของออลูมิเนียมซัลเฟตเทียบกับโซเดียมซัลเฟตต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเติมออลูมิเนียมซัลเฟตและโซเดียมซัลเฟตจะแตกตัวให้ออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์กับซัลเฟตไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์กับซัลเฟตไฮดรอกไซด์ตามลำดับ โดยออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงสามารถทำให้หยดน้ำมันมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าได้ดีกว่า และ จากรูปที่ 4.6 ซึ่งแสดงผลของโซเดียมซัลเฟตต่อประจุรอบหยดน้ำมัน (zeta potential) เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ พบว่า ค่า zeta potential เมื่อเติมโซเดียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นของออลูมิเนียมซัลเฟตจะมีค่า zeta potential ต่างกันมาก โดยค่า zeta potential เมื่อเติมโซเดียมซัลเฟตมีค่าสูงกว่า ค่า zeta potential เมื่อเติมออลูมิเนียมซัลเฟต ดังแสดงในรูปที่ 4.5 นั่นก็หมายความว่าแรงผลัทางไฟฟ้าสถิตระหว่างหยดน้ำมันด้วยกันเองและระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศเมื่อเติมโซเดียมซัลเฟตมีมากกว่าเมื่อเติมออลูมิเนียมซัลเฟต โอกาสที่หยดน้ำมันจะมารวมตัวกันจึงเกิดการทำให้หยดน้ำมันเกาะติดกับฟองอากาศได้น้อย ทำให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นเมื่อเติมโซเดียมซัลเฟตมีค่าน้อยกว่าเมื่อเติมออลูมิเนียมซัลเฟต ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นๆ



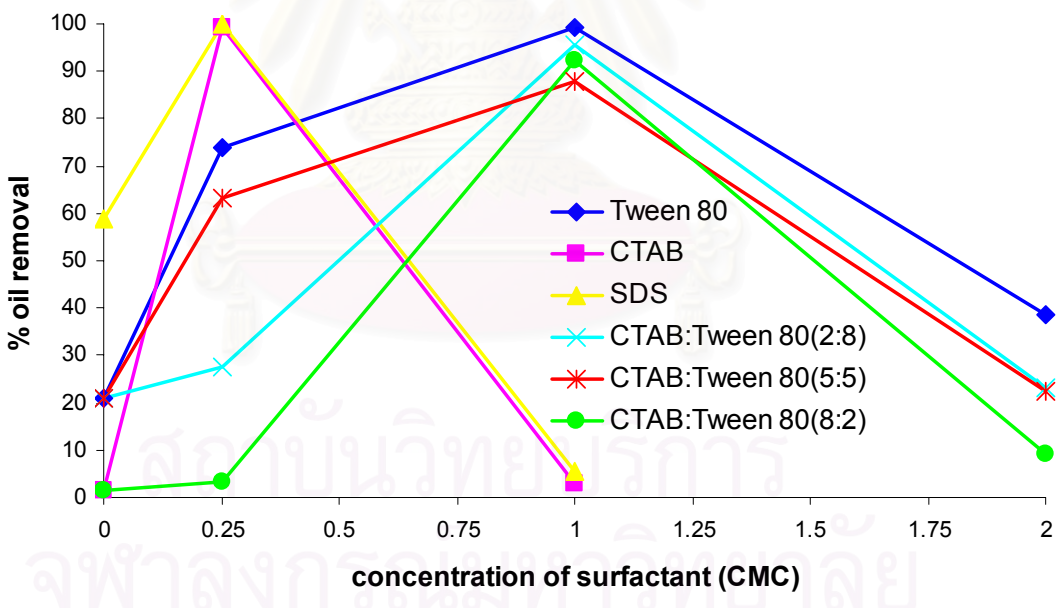
รูปที่ 4.7 ผลของอลูมิเนียมซัลเฟตเทียบกับโซเดียมซัลเฟตต่อการขจัดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ



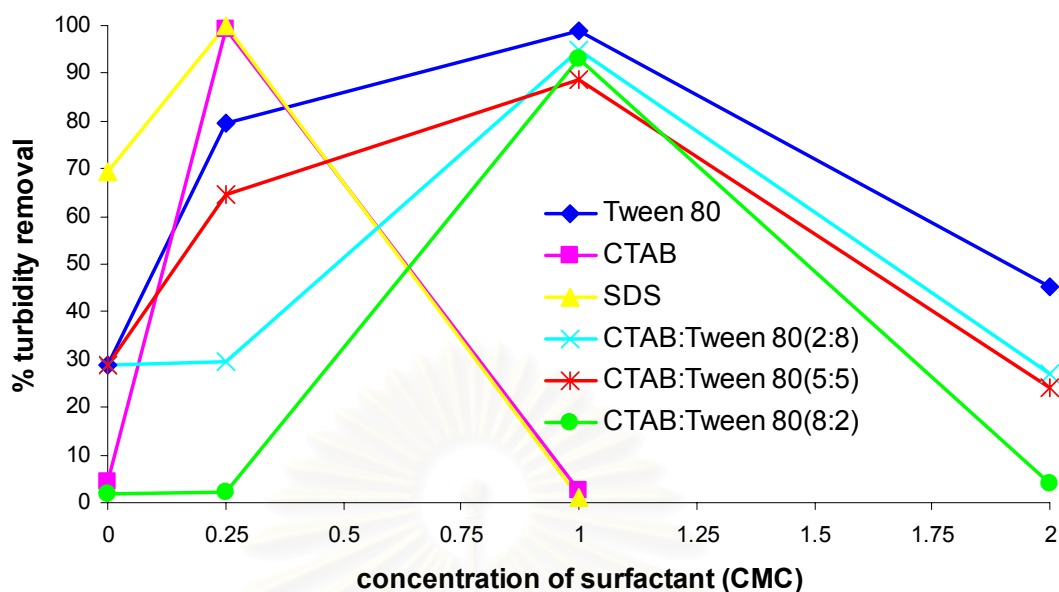
รูปที่ 4.8 ผลของอลูมิเนียมซัลเฟตเทียบกับโซเดียมซัลเฟตต่อการลดความขุ่น เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ

4.3.3 ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเมื่อมีการเติมอเล็กโทรไลต์

น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมอคูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้นที่เหมาะสม เมื่อใช้ Tween 80 ความเข้มข้นอคูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ CTAB ความเข้มข้นอคูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 480 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ SDS ความเข้มข้นอคูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 280 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) ความเข้มข้นอคูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วน (5 : 5) ความเข้มข้นอคูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ที่อัตราส่วน (8 : 2) ไม่ต้องเติมอคูมิเนียมซัลเฟต ค่าความเป็นกรด – เบส ที่ 7 ยกเว้นเมื่อใช้ SDS ค่าความเป็นกรด – เบส ที่ 4 เป็นค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 4.4 ฟองอากาศจะถูกควบคุมด้วยแผ่นกระจายอากาศให้มีขนาด 615 – 688 ไมโครเมตรผ่านเข้าสู่ระบบอินดิวิจแออร์โพลเทชันที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ 8 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 30 นาที โดยจะทำการวิเคราะห์หาค่าการขจัดน้ำมัน (% oil removal) และการลดความขุ่น (% turbidity removal)



รูปที่ 4.9 ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆต่อการขจัดน้ำมัน เมื่อมีการเติมอเล็กโทรไลต์



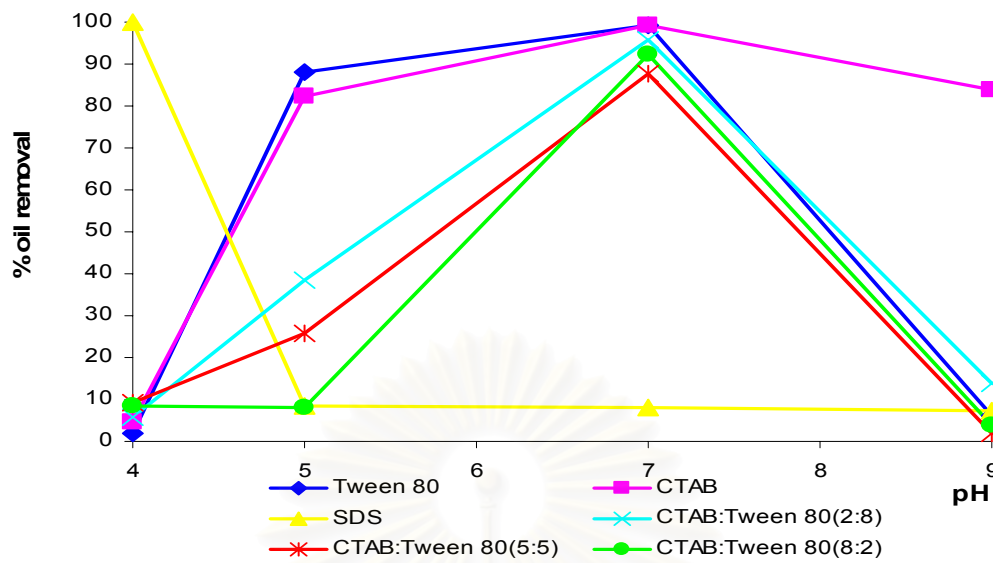
รูปที่ 4.10 ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ต่อการลดความขุ่น เมื่อมีการเติมอิเล็กโทรไลต์

โดยทำการศึกษากรณีที่ไม่มีเติมสารลดแรงตึงผิวและเติมสารลดแรงตึงผิวที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นเมื่อมีการเติมอิเล็กโทรไลต์ตามลำดับ กรณีเมื่อใช้ Tween 80 พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 1 CMC ให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงกว่ากรณีที่ไม่มีใช้สารลดแรงตึงผิวและใช้ที่ระดับความเข้มข้น 0.25 CMC ที่เป็นเช่นนี้เพราะที่ระดับความเข้มข้น 1 CMC จะทำให้หยดน้ำมันแทรกตัวเข้าไปในไมเซลล์ และยังสามารถทำให้ฟองอากาศมีเสถียรภาพไม่แตกง่าย แต่เมื่อเติม Tween 80 ที่ระดับความเข้มข้น 2 CMC ทำให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นต่ำมาก เนื่องจากทำให้อิมัลชันกลับมามีเสถียรภาพอีกครั้ง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB : Tween80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) (5 : 5) และ (8 : 2) ในกรณีที่ใช้ CTAB และ SDS จะเห็นว่าที่ 0.25 CMC ให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงกว่ากรณีที่ไม่มีใช้สารลดแรงตึงผิว แต่เมื่อใช้ CTAB และ SDS ที่ 1 CMC ทำให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นต่ำมาก เนื่องจากทำให้อิมัลชันกลับมามีเสถียรภาพอีกครั้ง กล่าวคือ อิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) มีผลทำให้ความเข้มข้นวิกฤตของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้กับสารละลายมีค่าเปลี่ยนไป โดยอิเล็กโทรไลต์จะไปลดความหนาของชั้นไอออน ที่อยู่รอบๆ ส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว ผลคือแรงผลักทางไฟฟ้าสถิตระหว่างหัวของมันลดลง ทำให้เกิดเป็นไมเซลล์ (Micelles) ได้ง่ายขึ้น หรือความเข้มข้นวิกฤตมีค่า

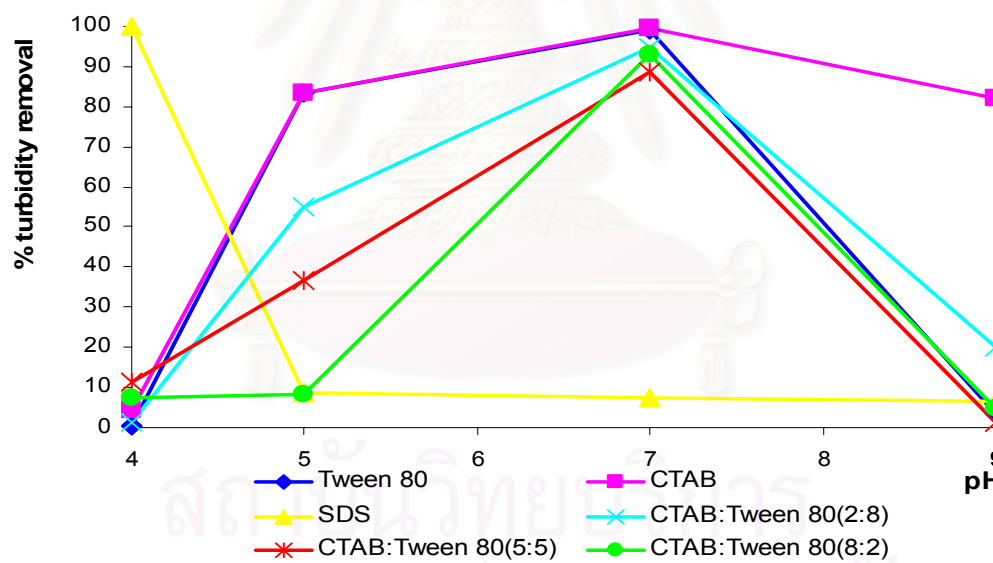
ลดลงนั่นเอง โดยจะมีผลกับ anionic และ cationic มากกว่าพวก nonionic surfactant (Pongstabodee และคณะ, 2002)

4.4 ค่าความเป็นกรด - เบส

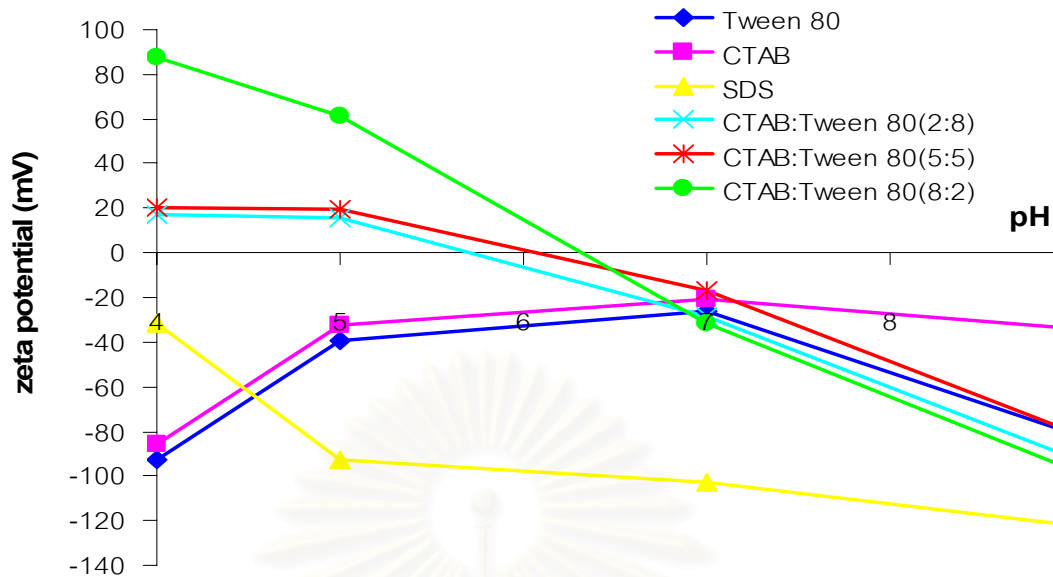
น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมออลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้นที่เหมาะสม เมื่อใช้ Tween 80 ความเข้มข้นออลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ CTAB ความเข้มข้นออลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 480 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ SDS ความเข้มข้นออลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 280 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) ความเข้มข้นออลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วน (5 : 5) ความเข้มข้นออลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ที่อัตราส่วน (8 : 2) ไม่ต้องเติมออลูมิเนียมซัลเฟต ผ่านเข้าสู่คอลัมน์โพลเทชันที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ 8 มิลลิเมตรต่อวินาที ฟองอากาศจะถูกควบคุมด้วยแผ่นกระจายอากาศให้มีขนาด 615 – 688 ไมโครเมตร โดยจะทำการวิเคราะห์หาค่าการขจัดน้ำมัน (% oil removal) และการลดความขุ่น (% turbidity removal) หลังจากอยู่ในคอลัมน์โพลเทชันนาน 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ รูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงผลค่าความเป็นกรด - เบสต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นตามลำดับ โดยทำการศึกษาที่ค่าความเป็นกรด - เบส ในช่วง 4 – 9 จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ Tween 80 CTAB และ สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วนต่างๆ ค่าความเป็นกรด - เบสที่การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงสุด คือ 7 และเมื่อพิจารณาค่า zeta potential ดังในรูปที่ 4.13 แสดงผลของค่าความเป็นกรด - เบสต่อประจุรอบหยดน้ำมัน (zeta potential) เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ค่า zeta potential มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ที่ค่าความเป็นกรด - เบส ที่ 4 ถึง 7 และค่าความเป็นกรด - เบส ที่ 7 ค่า zeta potential น้อยที่สุดซึ่งหมายความว่าแรงผลัทางไฟฟ้าระหว่างหยดน้ำมันด้วยกันเองและระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศมีค่าน้อย ทำให้หยดน้ำมันมารวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 4.14) และสามารถเกาะติดกับฟองอากาศได้ดี ผลสอดคล้องกับผลที่แสดงในรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ว่าค่าความเป็นกรด - เบส ที่ 7 การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงสุด และค่าความเป็นกรด - เบส ที่ 9 พบว่าการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นลดลง ค่า zeta potential มีค่าเป็นลบมากขึ้น เนื่องจาก ไฮดรอกซิลไอออน (OH) จากน้ำเสียจะจับกับออลูมิเนียมไอออนที่อยู่รอบๆ หยดน้ำมัน (Marinova และ คณะ, 1996) ทำให้แรงผลัทางไฟฟ้าระหว่างหยดน้ำมันด้วยกันเองและระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศมีค่ามาก อิมัลชันกลับมามีเสถียรภาพอีกครั้ง



รูปที่ 4.11 ผลของค่าความเป็นกรด - เบส ต่อการขจัดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.12 ผลค่าของความเป็นกรด - เบส ต่อการลดความขุ่น เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ

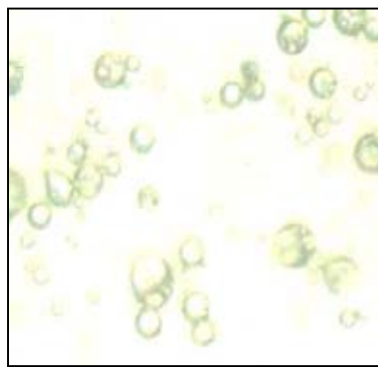


รูปที่ 4.13 ผลของค่าความเป็นกรด - เบส ต่อประจุรอบหยดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ

ส่วนในกรณีที่ใช้ SDS พบว่าค่าความเป็นกรด - เบส ที่ 4 การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงสุด และมีเปอร์เซ็นต์มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากที่สภาวะนี้ อิมัลชันมีความเป็นกรดจะมีไอออนของไฮโดรเจนไอออน (H^+) อยู่มาก ดังนั้นเมื่อเราใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ประจุบวกจากไฮโดรเจนไอออนและจากอลูมิเนียมไอออน จะช่วยทำให้อิมัลชันมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า แต่จะเห็นว่าค่าความเป็นกรด - เบส ที่ สูงกว่า 4 การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นลดลง เนื่องจากว่าไอออนของไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะมีจำนวนน้อยลงแต่จะมีไอออนของไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) มากขึ้น เป็นการเพิ่มความเป็นประจุลบลงไปอีก มีผลให้อิมัลชันกลับมามีเสถียรภาพอีกครั้ง และเมื่อพิจารณาค่า zeta potential ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ค่า zeta potential ที่ค่าความเป็นกรด - เบส ที่ 4 มีค่าน้อยที่สุดทำให้แรงผลัทางไฟฟ้าสถิตระหว่างหยดน้ำมันด้วยกันเองและระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศมีค่าน้อย ทำให้หยดน้ำมันมารวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถเกาะติดกับฟองอากาศได้ดี ผลสอดคล้องกับผลที่แสดงในรูปที่ 4.11 และ รูปที่ 4.12 ว่าค่าความเป็นกรด - เบส ที่ 4 การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงสุด และจะเห็นว่าค่าความเป็นกรด - เบส ที่ สูงกว่า 4 ค่า zeta potential มีค่าเป็นลบเพิ่มขึ้นจึงทำให้แรงผลัทางไฟฟ้าสถิตระหว่างหยดน้ำมันด้วยกันเองและระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศมีค่ามากขึ้น หยดน้ำมันไม่สามารถมารวมตัวกัน จึงทำการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นลดลง



ก.



ข.

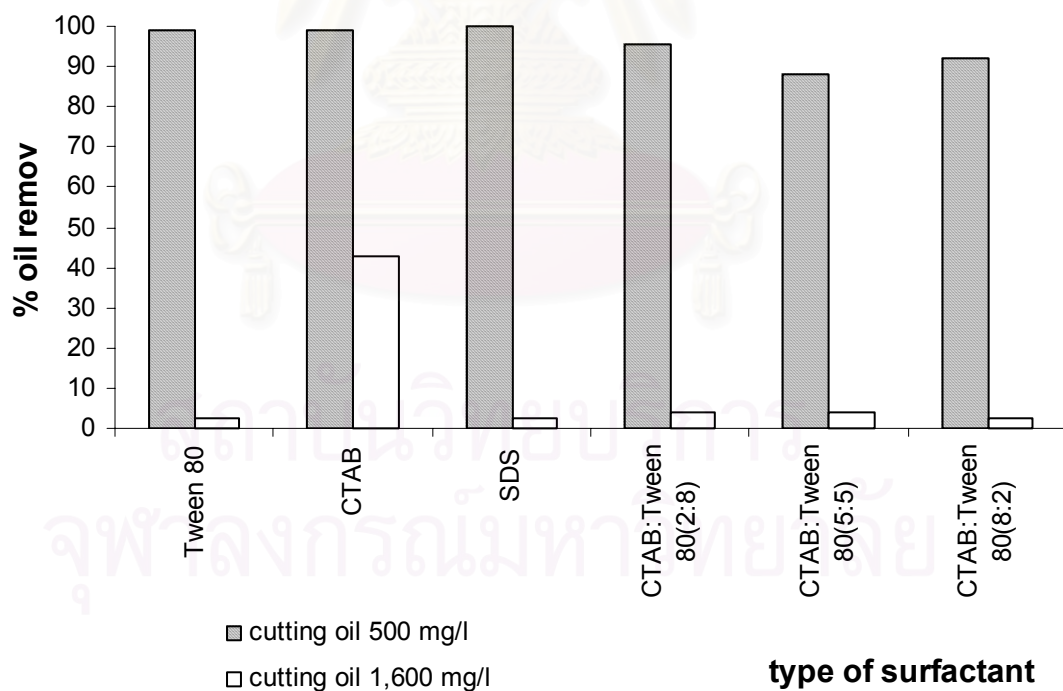
- รูปที่ 4.14 ก. น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ Tween 80 ที่ความเข้มข้น 1 CMC อลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 4 หยดน้ำมันมีขนาด 10 – 50 ไมโครเมตร
- ข. น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ Tween 80 ที่ความเข้มข้น 1 CMC อลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 7 หยดน้ำมันมีขนาด 50 – 200 ไมโครเมตร

(ใช้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 20 เท่า)

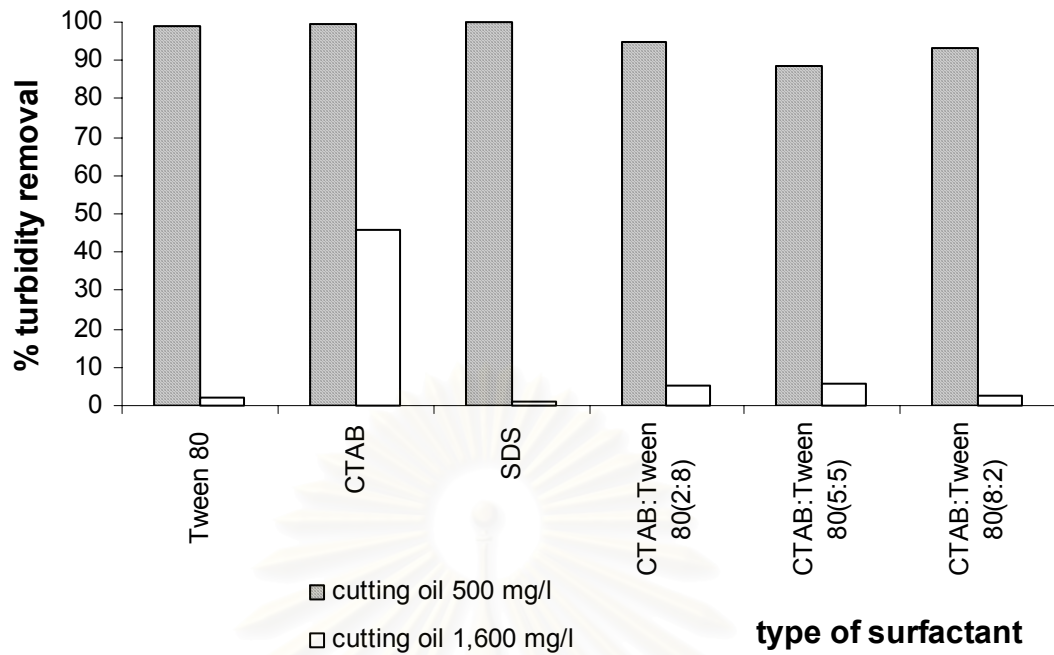
4.5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย

ความเข้มข้นของน้ำมันที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้คือ 500 และ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมอลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้นที่เหมาะสม เมื่อใช้ Tween 80 ความเข้มข้นอลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ CTAB ความเข้มข้นอลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 480 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ SDS ความเข้มข้นอลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 280 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) ความเข้มข้นอลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วน (5 : 5) ความเข้มข้นอลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ที่อัตราส่วน (8 : 2) ไม่ต้องเติมอลูมิเนียมซัลเฟต ค่าความเป็นกรด – เบส ที่ 7 ยกเว้นเมื่อใช้ SDS ค่าความเป็นกรด – เบส ที่ 4 ซึ่งหาได้จากหัวข้อที่ 4.4 ผ่านเข้าสู่คอลัมน์โพลเทชันที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ที่ 8 มิลลิลิตรต่อวินาที ฟองอากาศจะถูกควบคุมด้วยแผ่นกระจายอากาศให้มีขนาด 615 – 688 ไมโครเมตร โดยจะทำการวิเคราะห์หาค่าการขจัดน้ำมัน (% oil removal) และการลดความขุ่น (% turbidity removal) หลังจากอยู่ในคอลัมน์โพลเทชันนาน 30 นาที จากรูปที่ 4.15 และ รูปที่ 4.16 แสดงผลของความเข้มข้นของน้ำมันต่อการขจัดน้ำ

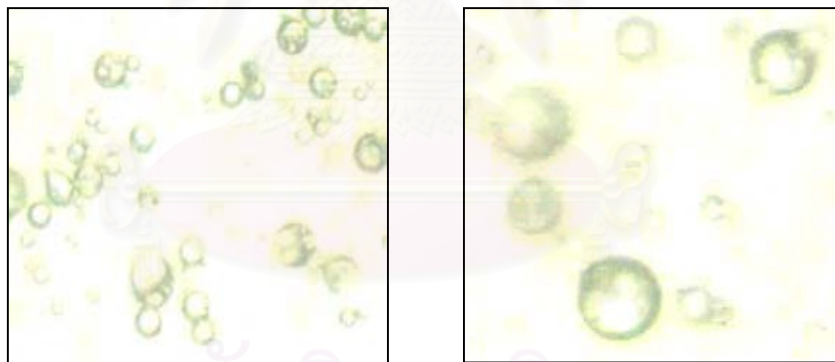
มันและการลดความขุ่น เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ตามลำดับ พบว่าที่ความเข้มข้นของน้ำมันที่ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นมีค่าต่ำมาก แต่เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันอยู่ที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นมีค่าสูงกว่ามาก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากปริมาณของอิมูนิเนียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมกับชนิดของสารลดแรงตึงผิวซึ่งหาได้จากหัวข้อที่ 4.3 ที่เติมลงไป เพียงพอต่อการทำลายเสถียรภาพของอิมัลชัน ส่วนที่ความเข้มข้นของน้ำมัน 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ประจวบจากอิมูนิเนียมไฮดรอกไซด์ไม่เพียงพอที่จะทำให้ประจวบหยดน้ำมันมีค่าเป็นกลางได้ จึงยังเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิตระหว่างหยดน้ำมันด้วยกันเองซึ่งยังมีประจุเป็นลบอยู่และระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศ และที่ความเข้มข้นของน้ำมัน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จะให้หยดน้ำมันมีขนาดเล็กกว่าที่ความเข้มข้นของน้ำมันที่ 1600 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดังแสดงในรูปที่ 4.17) ดังนั้นหยดน้ำมันขนาดเล็กเกาะกับฟองอากาศโดยไม่หลุดออกจากกันก่อนออกจากคอลัมน์โพลเทชัน โดยขนาดที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20 – 150 ไมโครเมตร (Moosai และ Dawe, 2003) ในขณะที่หยดน้ำมันขนาดใหญ่กว่า 200 ไมโครเมตร ฟองอากาศไม่สามารถทำให้หยดน้ำมันขนาดใหญ่นี้ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำด้านบนได้ หยดน้ำมันจะหลุดออกจากฟองอากาศเนื่องจากน้ำหนักของหยดน้ำมันเอง (Arnold และ คณะ, 1998)



รูปที่ 4.15 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันต่อการขจัดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.16 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันต่อการลดความขุ่น เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ



ก.

ข.

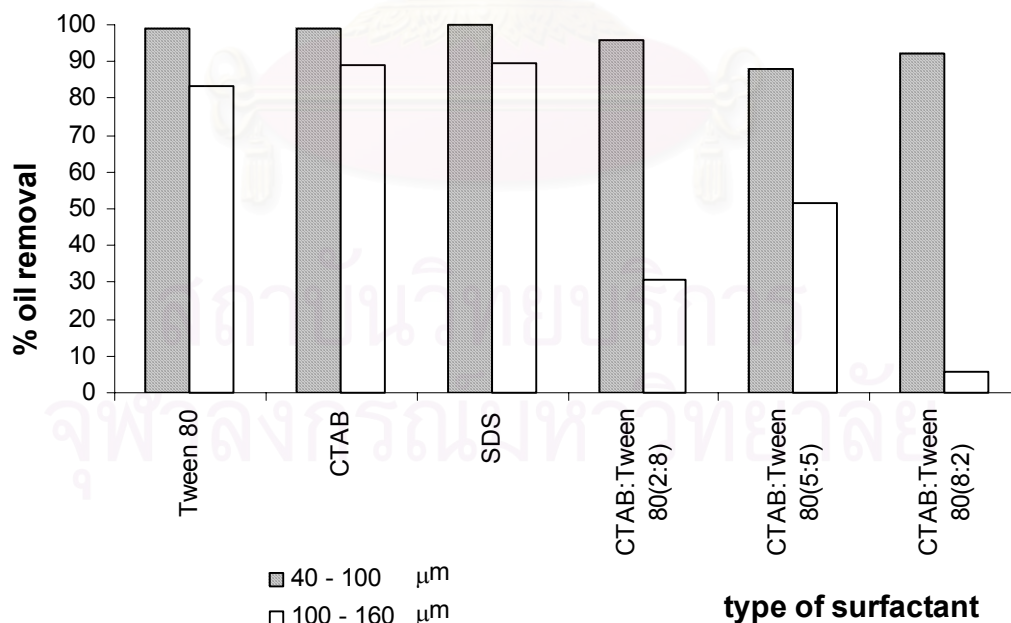
รูปที่ 4.17 ก. น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ Tween 80 ที่ความเข้มข้น 1 CMC อลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 7 หยดน้ำมันมีขนาด 50 – 200 ไมโครเมตร

ข. น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ Tween 80 ที่ความเข้มข้น 1 CMC อลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 7 หยดน้ำมันมีขนาด 300 – 800 ไมโครเมตร

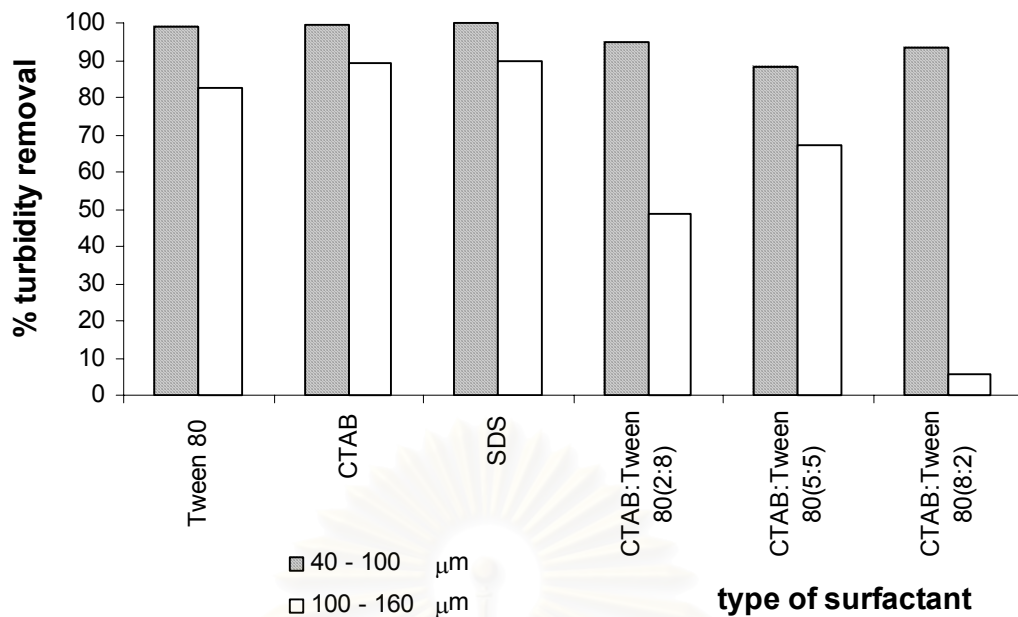
(ใช้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 20 เท่า)

4.6 ขนาดของฟองอากาศ

น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมออลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้นที่เหมาะสม เมื่อใช้ Tween 80 ความเข้มข้นออลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ CTAB ความเข้มข้นออลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 480 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ SDS ความเข้มข้นออลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 280 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) ความเข้มข้นออลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วน (5 : 5) ความเข้มข้นออลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ที่อัตราส่วน (8 : 2) ไม่ต้องเติมออลูมิเนียมซัลเฟต ค่าความเป็นกรด - เบส ที่ 7 ยกเว้นเมื่อใช้ SDS ค่าความเป็นกรด - เบส ที่ 4 ซึ่งหาได้จากหัวข้อที่ 4.4 ผ่านเข้าสู่คอลัมน์โพลเทชันที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ที่ 8 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยจะทำการวิเคราะห์หาค่าการขจัดน้ำมัน (% oil removal) และการลดความขุ่น (% turbidity removal) หลังจากอยู่ในคอลัมน์โพลเทชันนาน 30 นาที ดังแสดงผลในรูปที่ 4.18 และ รูปที่ 4.19 แสดงผลของขนาดของฟองอากาศต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ตามลำดับ โดยทำการศึกษานขนาดของฟองอากาศที่ถูกควบคุมด้วยแผ่นกระจายอากาศ 2 ช่วงด้วยกันคือ 615 - 688 ไมโครเมตร และ 896 - 1,168 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.18 ผลของขนาดของฟองอากาศต่อการขจัดน้ำมัน เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.19 ผลของขนาดของฟองอากาศต่อการลดความขุ่น เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ๆ

พบว่าเมื่อใช้ฟองอากาศขนาด 615 – 688 ไมโครเมตร การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงกว่าเมื่อใช้ฟองอากาศขนาด 896 – 1,168 ไมโครเมตร เนื่องจากฟองอากาศขนาดเล็กจะให้พื้นที่ผิวในเกาะติดกับหยดน้ำมันมากกว่าฟองอากาศขนาดใหญ่ที่ปริมาตรของฟองอากาศเท่ากันหรืออีกความหมายหนึ่งคือจำนวนฟองอากาศขนาดเล็กซึ่งมีมากกว่าเมื่อเทียบกับฟองอากาศขนาดใหญ่ และฟองอากาศขนาดเล็กยังลอยขึ้นสู่ผิวน้ำช้ากว่าฟองอากาศขนาดใหญ่อีกด้วย ทำให้เวลาที่ใช้ในการเกาะกันระหว่างฟองอากาศกับหยดน้ำมันเพิ่มขึ้น (Moosai และ Dawe, 2003) ฉะนั้นจึงมีหยดน้ำมันเกาะกับฟองอากาศได้มากขึ้นก่อนลอยตัวสู่ผิวน้ำ ซึ่งให้ผลเหมือนกันทุกๆสารลดแรงตึงผิว และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการชนกันระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศ (Sutherland, 1995) ดังแสดงในสมการ 4.1

$$E_c = 3d_p / d_b \quad 4.1$$

โดย E_c คือ ประสิทธิภาพการชนกันระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศ
 d_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำมัน
 d_b คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศ

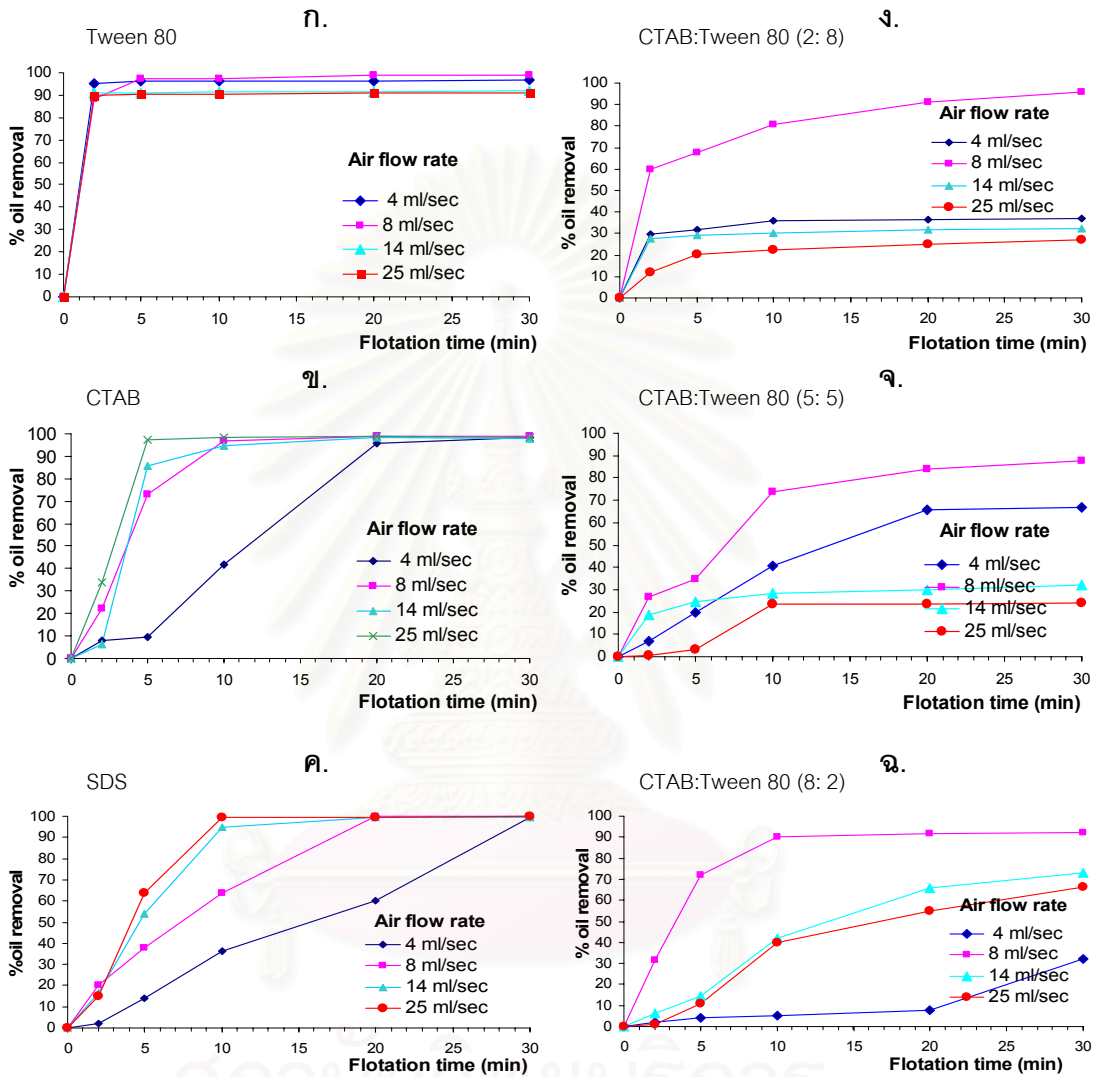
จะเห็นว่าประสิทธิภาพการชนกันระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศมีค่าสูงเมื่อขนาดของฟองอากาศมีขนาดเล็ก ซึ่งเมื่อเกิดการชนกันระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศมากกว่าก็จะทำให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงกว่ากรณีที่ใช้ฟองอากาศขนาดใหญ่ และจะเห็นว่ากรณีที่ใช้สาร

ลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 เมื่อใช้ฟองอากาศขนาดใหญ่ การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นมีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้ฟองอากาศขนาดเล็กมาก ต่างกับเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิว Tween 80 สารลดแรงตึงผิว CTAB สารลดแรงตึงผิว SDS เดี่ยวๆการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นเมื่อใช้ฟองอากาศขนาดใหญ่มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้ฟองอากาศขนาดเล็กเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ขนาดของหยดน้ำมันที่จับรวมตัวกันมีขนาดเล็กกว่า ทำให้โอกาสการชนกันระหว่างหยดน้ำมันขนาดเล็กนี้กับฟองอากาศที่ลอยขึ้นผิวน้ำอย่างรวดเร็วมีน้อย (Moosai และ Dawe, 2003) จึงทำให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นต่ำมาก

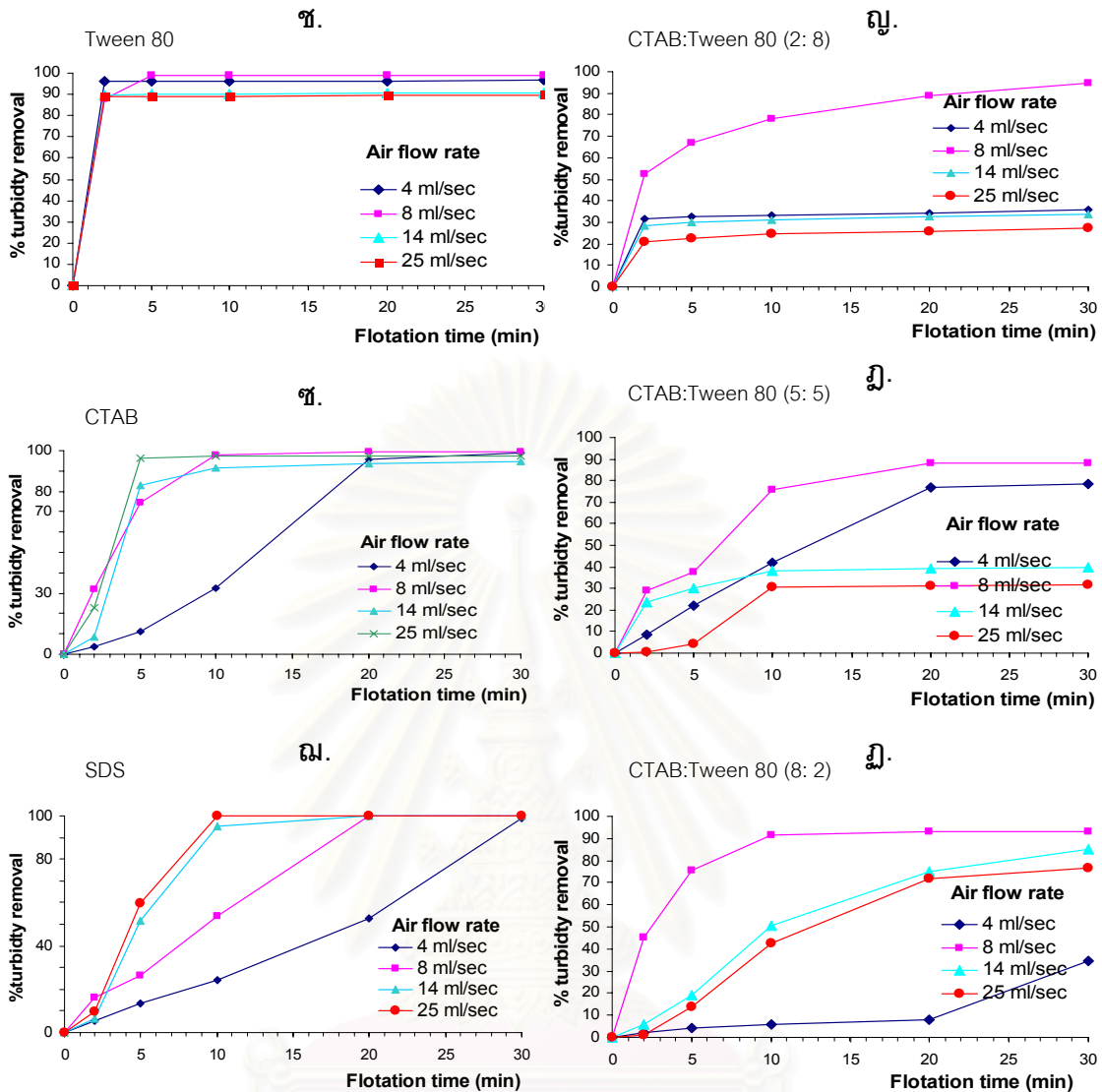
4.7 อัตราการไหลของอากาศ

น้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมน้ำมันเนียมซัลเฟตความเข้มข้นที่เหมาะสม เมื่อใช้ Tween 80 ความเข้มข้นอิมัลชันเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ CTAB ความเข้มข้นอิมัลชันเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 480 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ SDS ความเข้มข้นอิมัลชันเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 280 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) ความเข้มข้นอิมัลชันเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วน (5 : 5) ความเข้มข้นอิมัลชันเนียมซัลเฟตที่เติมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ที่อัตราส่วน (8 : 2) ไม่ต้องเติมน้ำมันเนียมซัลเฟต ค่าความเป็นกรด – เบส ที่ 7 ยกเว้นเมื่อใช้ SDS ค่าความเป็นกรด – เบส ที่ 4 ซึ่งหาได้จากหัวข้อที่ 4.4 ผ่านเข้าสู่คอลัมน์โพลเทชัน ฟองอากาศจะถูกควบคุมด้วยแผ่นกระจายอากาศให้มีขนาด 615 – 688 ไมโครเมตร โดยจะทำการวิเคราะห์หาค่าการขจัดน้ำมัน (% oil removal) ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ก. ถึงรูปที่ 4.20 ฉ. และการลดความขุ่น (% turbidity removal) ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ช. ถึงรูปที่ 4.20 ฎ. หลังจากอยู่ในคอลัมน์โพลเทชันนาน 30 นาที โดยทำการศึกษาที่อัตราการไหลของอากาศที่ 4, 8, 14 และ 25 มิลลิลิตรต่อวินาที ตามลำดับ ผลการทดลองเมื่อใช้ Tween 80 จากรูปที่ 4.20 ก. และ รูปที่ 4.20 ช. ผลของอัตราการไหลของอากาศต่อเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมันและเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นที่เวลาในการโพลเทชันต่างๆ ตามลำดับ พบว่าการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงสุดเมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศ 8 มิลลิลิตรต่อวินาที และพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศขึ้นการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นจะลดลง เนื่องจากว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศทำให้ฟองมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ฟองลอยขึ้นสู่ผิวน้ำอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการปั่นป่วนของน้ำ มีโอกาสที่อนุภาคน้ำมันที่เกาะติดกับฟองที่ลอยขึ้นไปแล้วตกกลับมาอีกครั้ง และเมื่อเกิดฟองอากาศขนาดใหญ่ทำให้พื้นที่ผิวในการเกาะติดระหว่างฟองอากาศกับอนุภาคน้ำมัน

น้อยลง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.20 ก.- ฉ. ผลของอัตราการไหลของอากาศต่อการขจัดน้ำมันที่เวลาในการโฟลเทชั่นต่างๆ



รูปที่ 4.20 ข.- ฉ. ผลของอัตราการไหลของอากาศต่อการลดความขุ่นที่เวลาในการโฟลเทชันต่างๆ

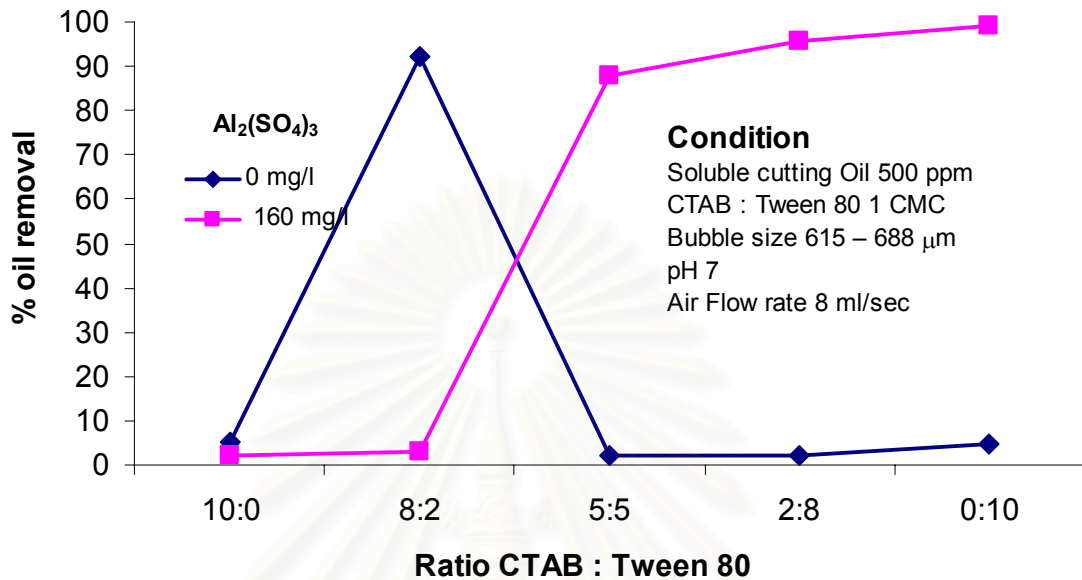
กรณีที่ใช้ CTAB พบว่าที่เวลา 5 นาที เมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศ 25 มิลลิเมตรต่อวินาที การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงสุด และหลังจาก 5 นาทีไปแล้ว พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศ 8, 14 และ 25 มิลลิเมตรต่อวินาที การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นจะมีค่าใกล้เคียงกันและค่อนข้างคงที่ เมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศ 4 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่เวลาต่ำกว่า 20 นาที การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นต่ำสุด เนื่องจากว่าความเร็วในการลอยตัวของฟองอากาศน้อยเกินไป อนุภาคน้ำมันที่เกาะกับฟองอากาศแล้วไม่ทันลอยขึ้นสู่ผิวน้ำที่อยู่ด้านบนของคอลัมน์หมดก็ตกกลับลงมาอีก

ส่วนกรณีที่ใช้ SDS เมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศ 25 มิลลิลิตรต่อวินาที การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงสุด และหลังจาก 20 นาทีไปแล้ว พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศ 8, 14 และ 25 มิลลิลิตรต่อวินาที การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นจะมีค่าใกล้เคียงกันและค่อนข้างคงที่ เมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศ 4 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่เวลาต่ำกว่า 30 นาที การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นต่ำสุด

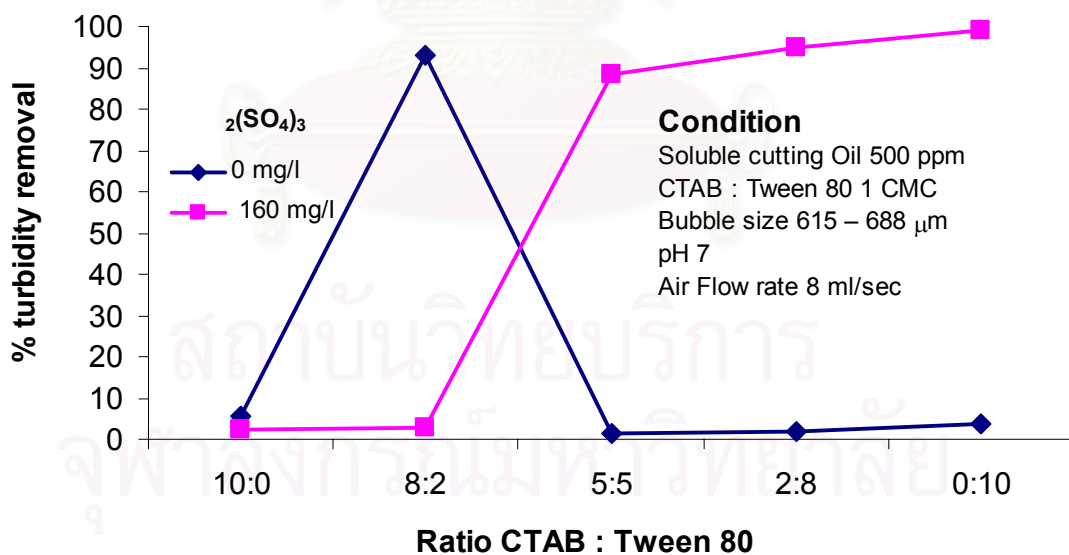
จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นแปรผันตามอัตราการไหลของอากาศ เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิว CTAB สารลดแรงตึงผิว SDS แต่เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิว Tween 80 และสารลดแรงตึงผิวระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) (5 : 5) และ (8 : 2) ตามลำดับกลับพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลถึงค่าหนึ่งในที่นี้คือ 8 มิลลิลิตรต่อวินาที จะได้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงสุด เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศมากขึ้นอีก จะพบว่าการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นกลับลดลง เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะผลรวมของแรงที่กระทำระหว่างฟองอากาศกับหยดน้ำมัน (F_{PB}) ซึ่งแรงเหล่านี้มีส่วนประกอบจากแรงอันเนื่องมาจากประจุไฟฟ้า (F_{ele}) ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับค่าประจุรอบๆ หยดน้ำมันและฟองอากาศ แรงไฮโดรไดนามิกซ์ (F_{Hyd}) ซึ่งขึ้นกับความเร็วของฟองอากาศหรืออัตราการไหลของอากาศ เป็นต้น จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ จะส่งผลให้แรงดึงดูดระหว่างฟองอากาศกับหยดน้ำมันอันเกิดจากแรงไฮโดรไดนามิกซ์สูงขึ้น เป็นผลให้ฟองอากาศกับหยดน้ำมันเกาะกันได้ดี การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ข. รูปที่ 4.20 ค. รูปที่ 4.20 ง. และ รูปที่ 4.20 ฉ. แต่ในกรณีที่ใช้สารลดแรงตึงผิว Tween 80 และสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจะทำให้เกิดการปั่นป่วนและยิ่งผลของแรงอันเนื่องมาจากประจุไฟฟ้าระหว่างฟองอากาศกับหยดน้ำมันมีค่าน้อยจึงมีโอกาสสูงที่หยดน้ำมันจะหลุดออกจากฟองอากาศจึงการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิว Tween 80 และสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ก. รูปที่ 4.20 ข. รูปที่ 4.20 ค. รูปที่ 4.20 ง. รูปที่ 4.20 ฉ. รูปที่ 4.20 จ. รูปที่ 4.20 ฉ. รูปที่ 4.20 ช. รูปที่ 4.20 ฅ. รูปที่ 4.20 ฎ. และ รูปที่ 4.20 ฏ. ตามลำดับ

แต่เพื่อให้สิ้นเปลืองพลังงานต่ำสุด จึงเลือกใช้อัตราการไหลของอากาศ 8 มิลลิลิตรต่อวินาที ในการทดลองอื่นๆ ต่อไป

4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการขจัดน้ำมันเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่อัตราส่วนต่างๆ กัน



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างการขจัดน้ำมันกับอัตราส่วนระหว่าง CTAB กับ Tween 80 เมื่อไม่ใช้ Al₂(SO₄)₃ และใช้ Al₂(SO₄)₃ ที่ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นกับอัตราส่วนระหว่าง CTAB กับ Tween 80 เมื่อไม่ใช้ Al₂(SO₄)₃ และใช้ Al₂(SO₄)₃ ที่ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.21 และ รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นกับอัตราส่วนระหว่าง CTAB กับ Tween 80 เมื่อไม่ใช้ $Al_2(SO_4)_3$ และใช้ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าเมื่อไม่ได้เติมอลูมิเนียมซัลเฟต การใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) ร่วมกับลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (8 : 2) ที่ระดับความเข้มข้น 1 CMC ให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงสุด เนื่องจาก Tween 80 สามารถแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของ CTAB อย่างเหมาะสมเปรียบเสมือนเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-Surfactant) ให้กับ CTAB จึงทำให้หยดน้ำมันเข้าไปแทรกในไมเซลล์ได้มากขึ้นและยึดเกาะกับฟองอากาศได้ดีจึงทำให้หยดน้ำมันถูกขจัดได้มาก โดยไม่ต้องมีอลูมิเนียมซัลเฟตมาเป็นตัวทำให้ประจุรอบหยดน้ำมันเป็นกลางทางไฟฟ้า ใช้แต่ประจุไฟฟ้าบวกจาก CTAB อย่างเดียวที่ทำให้หยดน้ำมันเป็นกลางทางไฟฟ้า แต่เมื่อใช้ปริมาณอลูมิเนียม 160 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนของ CTAB ร่วมกับ Tween 80 ที่ (0 : 10) (Tween 80 อย่างเดียว) การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงสุด รองลงมาคือ อัตราส่วน (2 : 8) อัตราส่วน (5 : 5) อัตราส่วน (8 : 2) และอัตราส่วน (10 : 0) (CTAB อย่างเดียว) ตามลำดับ เนื่องจากที่อัตราส่วน (0 : 10) ประจุบวกจากอลูมิเนียมไอออน 160 มิลลิกรัมสามารถทำให้ประจุลบรอบหยดน้ำมันเกิดความเป็นกลางทางไฟฟ้าได้พอดี จึงไม่จำเป็นต้องใช้ประจุไฟฟ้าบวกจาก CTAB อีก ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเติม CTAB เพิ่มขึ้นและลดปริมาณ Tween 80 ลงยิ่งทำให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นลดลง และลดลงต่ำสุดเมื่อใช้ CTAB อย่างเดียว

4.9 เปรียบเทียบงานวิจัยอื่นกับงานวิจัยนี้ที่เงื่อนไขที่ดีที่สุด

	Al-Shamrani ^a และคณะ (2002)	อโณชา และคณะ (1998)	งานวิจัยนี้
ระบบ	Dissolved air flotation	Froth flotation	Induce air flotation
น้ำมัน	Catenex oil 11	จากการล้างรถของ สถานีบริการน้ำมัน	น้ำมันหล่อเย็นชนิด ผสมน้ำ (Soluble Cutting Oil)
ความเข้มข้นของ น้ำมันเริ่มต้น	1630 มิลลิกรัมต่อลิตร	85-243 มิลลิกรัมต่อลิตร	500 และ 1600 มิลลิกรัมต่อลิตร
อิมัลชัน	-	-	มีเสถียรภาพมาก
สารลดแรงตึงผิว	Span 20(nonionic)	TERIC N10 (nonionic) DTAB (cationic) SDS (anionic)	Tween 80 (nonionic) CTAB (cationic) SDS (anionic) และ CTAB:Tween 80
ตัวทำลายเสถียร ภาพของอิมัลชัน	$Fe_2(SO_4)_3$ และ $Al_2(SO_4)_3$	NOVOUS CE 2680 Polymer 1154L KLARAID 1192 Qemifloc VH1007 Qemicals 720 $FeCl_3$	$Al_2(SO_4)_3$ และ $Na_2(SO_4)$
pH	5 - 9	-	4 - 9
ขนาดของ ฟองอากาศ	-	-	615 – 688 μm และ 896 -1,168 μm
เปอร์เซ็นต์การ ขจัดน้ำมัน	> 99 %	100 %	> 99 %
เปอร์เซ็นต์การ ลดความขุ่น	-	-	> 99 %

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. เพื่อให้ระบบโฟลเทชันมีการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นมีค่าสูง และให้สิ้นเปลืองพลังงานต่ำที่สุด อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ คือที่ 8 มิลลิเมตรต่อวินาที

2. ความเข้มข้นของอลูมิเนียมซัลเฟตมีผลต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น เมื่อความเข้มข้นน้ำมันที่ใช้คือ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยความเข้มข้นของอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมและให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงสุดขึ้นกับชนิดสารลดแรงตึงผิวด้วย เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่ 1 CMC ความเข้มข้นของอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) ที่ 0.25 CMC ความเข้มข้นของอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 480 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (SDS) ที่ 0.25 CMC ความเข้มข้นของอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 280 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (2 : 8) ที่ 1 CMC ความเข้มข้นของอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (5 : 5) ที่ 1 CMC ความเข้มข้นของอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร และ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (8 : 2) ที่ 1 CMC กรณีนี้พบว่าไม่ต้องใช้อลูมิเนียมซัลเฟต

3. อลูมิเนียมซัลเฟตส่งผลต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นออกจากน้ำเสียมากกว่า โซเดียมซัลเฟต

4. ค่าความเป็นกรด - เบสมีผลต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น โดยค่าความเป็นกรด - เบสที่เหมาะสมและให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงสุดขึ้นกับชนิดสารลดแรงตึงผิวหรือการทำงานของสารลดแรงตึงผิวขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด - เบส

5. ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวมีผลต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น คือเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) และสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่ทุกอัตราส่วนใช้ที่ 1 CMC ส่วนสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) และสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (SDS) ใช้ที่ 0.25 CMC

6. ขนาดของฟองอากาศมีผลต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น โดยขนาดของฟองอากาศ 615 – 688 ไมโครเมตร ให้การขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นสูงกว่า ขนาดของฟองอากาศ 896 – 1,168 ไมโครเมตร

7. ความเข้มข้นของน้ำมันมีผลต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

8. ค่าความเป็นประจุรอบหยดน้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชันหรือ ค่า zeta potential มีผลต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นออกจากน้ำเสีย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาน้ำเสียของน้ำมันชนิดอื่น หรืออาจจะใช้น้ำเสียจากการใช้งานจริง เพื่อทดสอบผลของอิเล็กโทรไลต์หรือสารลดแรงตึงผิว เพื่อการนำไปประยุกต์ในโอกาสต่อไป

2. ควรเพิ่มส่วนของกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ เพื่อป้องกันในกรณีที่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

3. ควรนำหยดน้ำมันที่เกาะติดออกมากับฟองไปบำบัดหรือนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

4. ควรศึกษากรณีที่ใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่างชนิดประจุบวก (CTAB) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) เพิ่มเติม คือใช้ CTAB อย่างเดียว ที่ปริมาณเท่ากับ CTAB + Tween 80 ที่อัตราส่วน (8:2) ว่าผลของการที่ไม่ต้องใช้ขมิ้นชันผสมมาจากทั้งสองสารลดแรงตึงผิว หรือประจุไฟฟ้าบวกจาก CTAB อย่างเดียวที่ทำให้อนุภาคน้ำมันเป็นกลางทางไฟฟ้า

5. ศึกษาการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นเมื่อเติมโซเดียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นมากกว่าที่ได้ศึกษาไว้ (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) เนื่องจากข้อมูลค่า zeta potential (รูปที่ 4.6) ของอัตราส่วนระหว่าง CTAB : Tween 80 ที่ (8 : 2) ค่า zeta potential เมื่อเติมโซเดียมซัลเฟตต่ำกว่าเมื่อเติม

อุดมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นเท่ากันจึงคิดว่าการขจัดน้ำมันและการลดความชุ่มน้ำจะสูงกว่า
อุดมเนียมซัลเฟต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- พิมพ์พร ลีลาพรพิสิฐ.(2540). อิมัลชันทางเครื่องสำอาง, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์ โอ.เอส. พรินต์ติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ
- มันรัชต์ ตันกุลเวศม์ และ มันสิน ตันกุลเวศม์.(2545). เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพฯ
- อโณชา เกตุเวชช์.(2541). การบำบัดน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมันโดยระบบฟองลอย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

- Al-Shamrani,A.A., James,A. and Xiao,H.(2002). Destabilisation of Oil – Water Emulsions and Separation by Dissolved Air Flotation, Water Research ,36: 1503 – 1512.
- Al-Shamrani,A.A., James,A. and Xiao,H.(2002), Separation of Oil from Water by Dissolved Air Flotation,Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects ,209: 15 – 26.
- Arnold,K.E. and Stewart,W.(1998). Surface Production Operations-Design of Oil Handling Systems and Facilities, vol. 1, section ed., Gulf Publishing Co, Houston, Texas.
- Clint,J.T.(1992). Surfactant Aggregation, New York: Blackie&Son,1-11.
- Davies,J.T., and Rideal,E.K.(1963). Interfacial Phenomena (2nd ed.), New York: Academic.
- Dean,O.H., and Lemlich,R.(1965). Bubble and Foam Fractionation Combined, I&EC Process Design and Development, 4(1): 13-16.
- Gibbs,J.W.(1928). Collected Works, New York: Longmans.
- Grattoni,C., Moosai,R. and Dawe,R.A.(2003). Photographic Observations Showing Spreading and Non – Spreading of Oil on Gas Bubbles of Relevance to Gas Flotation for Oily Wastewater Cleanup, Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects ,214: 151 – 155.
- Jorge,E.P., Mendizabal,E., Delgado,S., Arellano,J. and Lopez,S.F.(2003). Cosurfactant Effects on The Microemulsion Polymerization of Styrene, C.R. Chimie, 6: 1267-1273.

- Marinova,K.G., Alargova,R.G., Denkov, N.D., Velev,N.D., Petsev,D.N., Ivanov,I.B. and Borwankar,R.P.(1996). Charging of Oil Water Interface due to Spontaneous Adsorption of Hydroxylions. Langmuir, 12: 2045 – 2051.
- Melo,M.V., Sant'anna jr,G.L. and Massarani,G.(2003). Flotation Techniques for Oily Water Treatment, Environmental Technology ,24: 867 – 876.
- Moosai,R.and Dawe,R.A.(2003). Gas Attachment of Oil Droplets for Gas Flotation for Oily Wastewater Cleanup, Separation and Purification Technology ,: 1 – 12.
- Pongstabodee,S., Assawasujindarat,S. and Langkapin,N.(2002). Electrolyte Effect on Edible Oil-in-Water Emulsion Treatment by Using Bubble Column, International Proceeding 8th ASCON,: 501-506.
- Pongstabodee,S., Scamehorn,J.F., Chavadej,S. and Harwell,J.H. (1998). Cleanup of Oily Wastewater by Froth Flotation: Effect of Microemulsion Formation, Separation Science and Technology ,33(4): 591 – 609.
- Rosen,M.J.(1989), Surfactants and Interfacial Phenomena .(2nd ed.). New York: John Wiley&Son.
- Sutherland,K.L. and Wark,I.W.(1995). Principles of flotation, Auderson Pty, Melbourne.
- Tantayakom,P.(1997). Oil Removal from DOP Wastewater by Froth Flotation Process, Master's Thesis, Inter-Department of Environmental Science, Graduate School, Chulalongkorn University.
- Yoshiyuki,O. and Eng,J.C.(1979). Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers, New York: Mc Graw-Hill, 183-197.
- Zhu,X.F., Reed,B.A., Lin,W., Carriere,P.E. and Roark,G.(1997). Investigation of Emulsified Oil Wastewater Treatment with Polymers, Separation Science and Technology ,32(13): 2173 – 2187.
- Zouboulis,A.L. and Avranas,A. (2000). Treatment of Oil-in-Water Emulsions by Coagulation and Dissolved-Air Flotation, Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects ,172: 153 – 161.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์น้ำเสียที่ได้รับการบำบัดแล้ว

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสียที่ได้รับการบำบัดแล้วได้แก่

ก-1 การตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbent)

โดยใช้เครื่อง UVVIS Spectrophotometer แล้วนำมาหาเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย (% oil removal)

$$\% \text{ oil removal} = ((C_0V_0 - C_tV_t) / C_0V_0) \times 100$$

V_0 = ปริมาตรของน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย ณ เวลาเริ่มต้น

V_t = ปริมาตรของน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย ณ เวลาใดๆ

C_0 = ค่าความเข้มข้นของน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย ณ เวลาเริ่มต้น

C_t = ค่าความเข้มข้นของน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสีย ณ เวลาใดๆ

ก-2 การตรวจวัดค่าความขุ่น (Turbidity)

โดยใช้เครื่อง Turbidimeter แล้วนำมาหาเปอร์เซ็นต์การขจัดความขุ่นของน้ำเสีย (% turbidity removal)

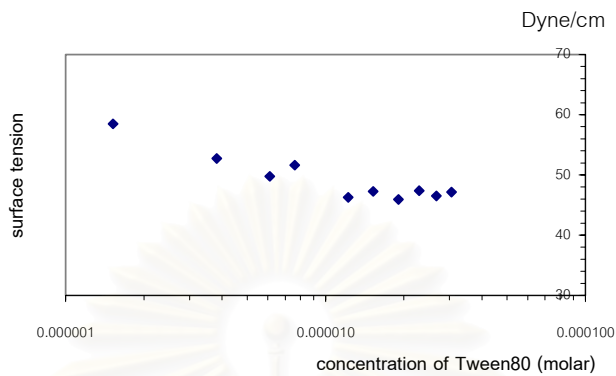
$$\% \text{ turbidity removal} = ((\text{tur}_0 - \text{tur}_t) / \text{tur}_0) \times 100$$

tur_0 = ค่าความขุ่นของน้ำเสีย ณ เวลาเริ่มต้น

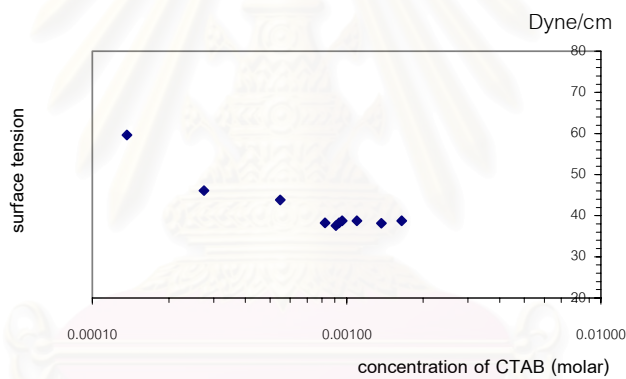
tur_t = ค่าความขุ่นของน้ำเสีย ณ เวลาใดๆ

ภาคผนวก ข

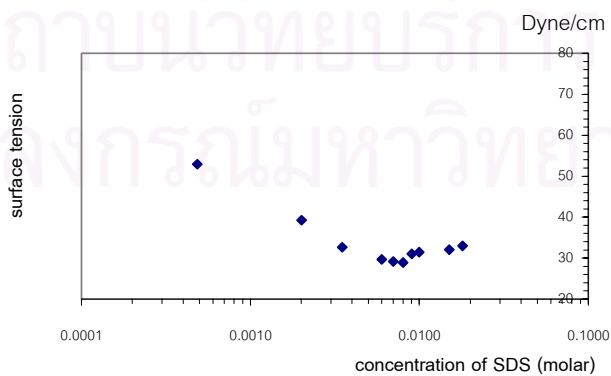
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่างๆ



รูปที่ ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80)



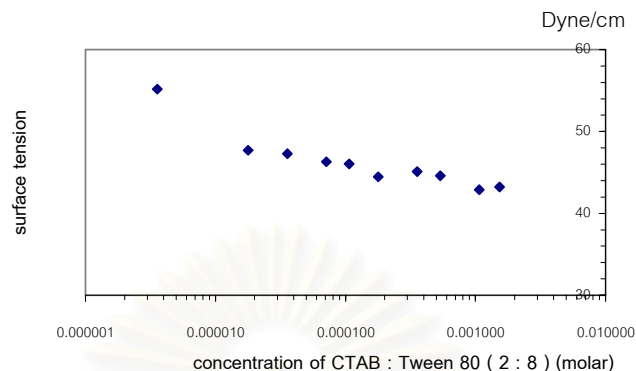
รูปที่ ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB)



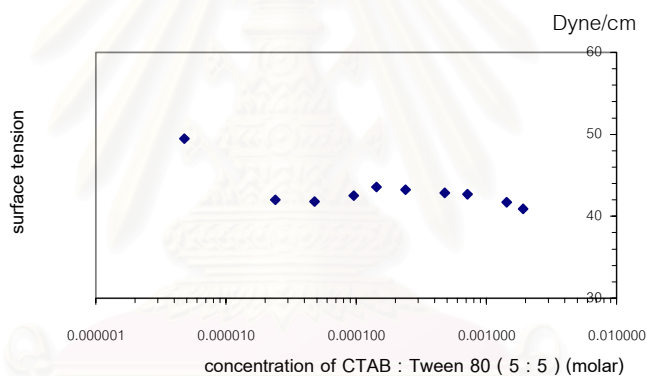
รูปที่ ข-3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (SDS)

ภาคผนวก ข (ต่อ)

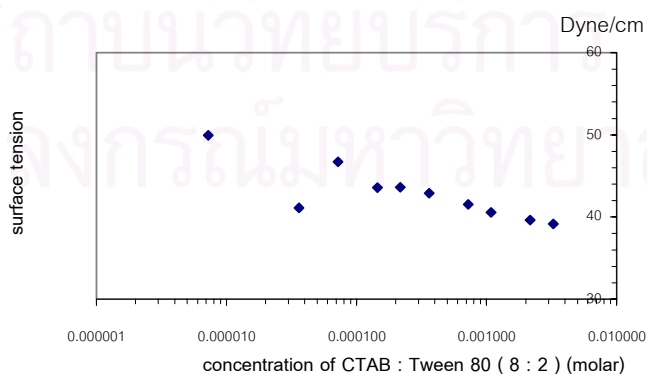
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่าง ๆ (ต่อ)



รูปที่ ข-4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (2 : 8)



รูปที่ ข-5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (5 : 5)

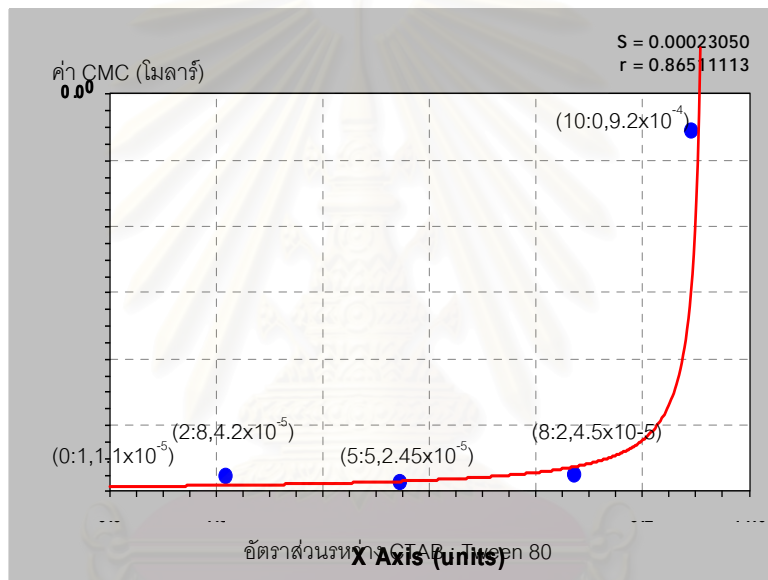


รูปที่ ข-6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก (CTAB) กับ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (8 : 2)

ภาคผนวก ข (ต่อ)

การหาความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (critical micelle concentration, CMC) ของสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน CTAB : Tween 80	ค่า CMC (โมลาร์)
0 : 1	1.1e-005
2 : 8	4.2e-005
5 : 5	2.45e-005
8 : 2	4.5e-005
10 : 0	0.00092



รูปที่ ข-7 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (critical micelle concentration, CMC) ของสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากกราฟจะได้

Reciprocal Model: $y = 1/(ax+b)$

Coefficient Data:

a = -6698.6143

b = 68901.723

ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ ของสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Tween 80 ในรูปสมการ คือ

ค่า CMC ระหว่าง CTAB : Tween 80 = $1 / ((-6698.6143) (\text{อัตราส่วนของ CTAB}) + 68901.723)$

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค-1 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC)

Surface Tension ของน้ำที่ 25°C = 71.97 Dyne/cm

sample	Tween 80 (mol/l)	surface Tension น้ำ	Surface Tension	Factor	Surface Tension * factor
1	0.000002	69.3	56.3	1.039	58.47
2	0.000004	69.6	51.0	1.034	52.74
3	0.000006	69.3	47.9	1.039	49.75
4	0.000008	69.3	49.7	1.039	51.61
5	0.000012	69.2	44.5	1.040	46.28
6	0.000015	69.6	45.7	1.034	47.26
7	0.000019	69.6	44.4	1.034	45.91
8	0.000023	69.4	45.7	1.037	47.39
9	0.000027	69.5	44.9	1.036	46.50
10	0.000031	69.6	45.6	1.034	47.15

ตารางที่ ค-2 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC)

Surface Tension ของน้ำที่ 25°C = 71.97 Dyne/cm

sample	CTAB (mol/l)	surface Tension น้ำ	Surface Tension	Factor	Surface Tension * factor
1	0.00014	69.4	57.5	1.037	59.63
2	0.00027	69.4	44.5	1.037	46.15
3	0.00055	69.3	42.2	1.039	43.83
4	0.00082	69.5	36.9	1.036	38.21
5	0.00091	69.7	36.4	1.033	37.59
6	0.00094	69.8	37.1	1.031	38.25
7	0.00096	69.5	37.4	1.036	38.73
8	0.00110	69.7	37.5	1.033	38.72
9	0.00137	69.6	36.9	1.034	38.16
10	0.00165	69.6	37.5	1.034	38.78

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-3 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (SDS) เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC)

Surface Tension ของน้ำที่ 25°C = 71.97 Dyne/cm

sample	SDS (mol/l)	surface Tension น้ำ	Surface Tension	Factor	Surface Tension * factor
1	0.0005	70.0	51.5	1.028	52.95
2	0.0020	69.8	38.1	1.031	39.28
3	0.0035	69.9	31.7	1.030	32.64
4	0.0060	69.8	28.8	1.031	29.70
5	0.0070	70.3	28.5	1.024	29.18
6	0.0080	70.0	28.1	1.028	28.89
7	0.0090	69.9	30.1	1.030	30.99
8	0.0100	69.7	30.5	1.033	31.49
9	0.0150	70.1	31.2	1.027	32.03
10	0.0180	69.9	32.0	1.030	32.95

ตารางที่ ค-4 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (2 : 8) เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC)

Surface Tension ของน้ำที่ 25°C = 71.97 Dyne/cm

sample	Tween 80 (mol/l)	surface Tension น้ำ	Surface Tension	Factor	Surface Tension * factor
1	0.000004	70.2	53.8	1.025	55.16
2	0.000018	69.7	46.2	1.033	47.70
3	0.000036	69.4	45.6	1.037	47.29
4	0.000071	69.0	44.4	1.043	46.31
5	0.000107	68.9	44.1	1.045	46.06
6	0.000178	69.1	42.7	1.042	44.47
7	0.000357	69.1	43.3	1.042	45.10
8	0.000535	69.4	43.0	1.037	44.59
9	0.001071	69.3	41.3	1.039	42.89
10	0.001534	69.1	41.5	1.042	43.22

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-5 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (5 : 5) เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC)

Surface Tension ของน้ำที่ $25^{\circ}\text{C} = 71.97 \text{ Dyne/cm}$

sample	Tween 80 (mol/l)	surface Tension น้ำ	Surface Tension	Factor	Surface Tension * factor
1	0.000005	69.4	47.7	1.037	49.47
2	0.000024	69.4	40.5	1.037	42.00
3	0.000048	69.2	40.2	1.040	41.81
4	0.000096	69.2	40.9	1.040	42.54
5	0.000143	69.0	41.8	1.043	43.60
6	0.000239	69.1	41.5	1.042	43.22
7	0.000478	69.5	41.4	1.036	42.87
8	0.000717	69.6	41.3	1.034	42.71
9	0.001433	69.5	40.3	1.036	41.73
10	0.001911	69.3	39.4	1.039	40.92

ตารางที่ ค-6 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ที่อัตราส่วน (8 : 2) เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC)

Surface Tension ของน้ำที่ $25^{\circ}\text{C} = 71.97 \text{ Dyne/cm}$

sample	Tween 80 (mol/l)	surface Tension น้ำ	Surface Tension	Factor	Surface Tension * factor
1	0.000007	69.6	48.3	1.034	49.94
2	0.000036	68.8	39.3	1.046	41.11
3	0.000072	69.0	44.8	1.043	46.73
4	0.000145	69.0	41.8	1.043	43.60
5	0.000217	69.6	42.2	1.034	43.64
6	0.000361	69.6	41.5	1.034	42.91
7	0.000723	69.5	40.1	1.036	41.53
8	0.001084	69.4	39.1	1.037	40.55
9	0.002168	69.0	38.0	1.043	39.64
10	0.003252	69.1	37.6	1.042	39.16

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-7 ผลของอิเล็กโทรไลต์ที่ความเข้มข้นต่างๆต่อค่าซีต้าโพเทนเชียล (Zeta potential)

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, Tween 80 1, CMC, pH 7

ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า zeta potential (mV)	
	เมื่อใช้ลลูมิเนียมซัลเฟต	เมื่อใช้โซเดียมซัลเฟต
0	-178	-178
40	-111	-174
120	-52.4	-168
160	-26.4	-155
200	-33	-146

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB 0.25 CMC, pH 7

ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า zeta potential (mV)	
	เมื่อใช้ลลูมิเนียมซัลเฟต	เมื่อใช้โซเดียมซัลเฟต
0	60.7	60.7
80	-66.7	-137
400	-42.8	-122
480	-21.0	-114
560	-27.4	-118

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, SDS 1 CMC, pH 3.6

ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า zeta potential (mV)	
	เมื่อใช้ลลูมิเนียมซัลเฟต	เมื่อใช้โซเดียมซัลเฟต
0	-181	-181
200	-57.6	-174
240	-52.1	-170
280	-31.7	-166
360	-29.2	-164
500	-26.0	-163

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-7 (ต่อ) ผลของอิเล็กโทรไลต์ที่ความเข้มข้นต่างๆต่อค่าซีต้าโพเทนเชียล (Zeta potential)

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8), pH 7

ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า zeta potential (mV)	
	เมื่อใช้อลูมิเนียมซัลเฟต	เมื่อใช้โซเดียมซัลเฟต
0	-130	-130
80	-66.7	-125
160	-28.2	-122
200	-46.6	-119
400	-48.8	-116

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (5 : 5), pH 7

ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า zeta potential (mV)	
	เมื่อใช้อลูมิเนียมซัลเฟต	เมื่อใช้โซเดียมซัลเฟต
0	-122	-122
80	-22.9	-116
120	-17.5	-114
160	-16.9	-98.7
200	15.7	-95.1
400	-21.1	-71.0

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (8 : 2), pH 7

ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า zeta potential (mV)	
	เมื่อใช้อลูมิเนียมซัลเฟต	เมื่อใช้โซเดียมซัลเฟต
0	-31.4	-31.4
20	7.21	8.94
40	20.1	9.10
100	21.95	5.74
160	22.3	5.65

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-8 ผลของค่าความเป็นกรด - เบสต่อค่าซีต้าโพเทนเชียล (Zeta potential)

ค่าความเป็นกรด - เบส	cutting oil 500 mg/l Tween 80 1 CMC $Al_2(SO_4)_3$ 160 mg/l	cutting oil 500 mg/l CTAB 0.25 CMC $Al_2(SO_4)_3$ 480 mg/l	cutting oil 500 mg/l SDS 0.25 CMC $Al_2(SO_4)_3$ 280 mg/l
	ค่า zeta potential (mV)	ค่า zeta potential (mV)	ค่า zeta potential (mV)
4	-92.5	-86.0	-31.7
5	-39.0	-32.0	-93.1
7	-26.4	-21.0	-103
9	-81.0	-34.0	-122

ค่าความเป็นกรด - เบส	cutting oil 500 mg/l CTAB:Tween 80 (2:8) 1 CMC $Al_2(SO_4)_3$ 160 mg/l	cutting oil 500 mg/l CTAB:Tween 80 (5:5) 1 CMC $Al_2(SO_4)_3$ 160 mg/l	cutting oil 500 mg/l CTAB:Tween 80 (8:2) 1 CMC $Al_2(SO_4)_3$ 0 mg/l
	ค่า zeta potential (mV)	ค่า zeta potential (mV)	ค่า zeta potential (mV)
4	17.4	20.5	87.8
5	15.6	19.6	61.3
7	-28.2	-16.9	-31.4
9	-92.3	-80.5	-97.7

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-9 ผลของอิเล็กโทรไลต์ต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, Tween 80 1 CMC, Bubble size 40 - 100 μm ,
pH 7, Air Flow rate 8 ml/sec

ความเข้มข้น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l)	0	120	160	200	240
Flotation time (min)	% oil removal				
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3.84	74.78	88.44	70.91	61.87
5	3.99	74.92	97.12	71.83	62.18
10	4.03	75.01	97.19	73.15	62.82
20	4.88	75.10	99.16	73.68	65.13
30	4.96	75.21	99.17	73.91	66.02

ความเข้มข้น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l)	0	200	240	280	360
Flotation time (min)	% turbidity removal				
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.95	77.86	87.57	69.07	58.01
5	2.34	78.06	99.03	71.01	60.55
10	3.32	78.25	99.03	71.60	61.91
20	3.52	78.25	99.03	76.26	66.60
30	3.71	78.45	99.03	76.65	66.60

อิเล็กโทรไลต์ 160 mg/l	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Na}_2(\text{SO}_4)$	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Na}_2(\text{SO}_4)$
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	88.44	4.24	87.57	5.03
5	97.12	4.39	99.03	4.84
10	97.19	4.96	99.03	5.22
20	99.16	5.50	99.03	5.22
30	99.17	5.56	99.03	5.80

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-9 (ต่อ) ผลของอิเล็คโทรไลต์ต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB 0.25 CMC, Bubble size 40 - 100 μ m,
pH 7, Air Flow rate 8 ml/sec

ความเข้มข้น $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	0	80	320	400	480	560	600
Flotation time (min)	% oil removal						
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.72	9.06	3.80	1.91	22.38	0.19	7.30
5	1.74	10.99	45.00	38.29	73.16	22.71	28.41
10	2.13	11.14	50.60	86.68	96.57	73.88	71.15
20	2.62	11.22	63.51	87.01	99.14	97.78	70.94
30	3.92	17.39	65.17	87.36	99.18	98.12	82.49

ความเข้มข้น $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	0	80	320	400	480	560	600
Flotation time (min)	% turbidity removal						
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.65	7.61	10.00	16.89	31.90	12.30	14.06
5	1.08	8.85	14.00	46.60	74.36	29.28	31.38
10	1.08	10.29	32.00	88.78	98.04	74.20	67.97
20	2.17	11.32	46.00	91.27	99.39	97.59	72.01
30	3.47	12.96	50.00	91.61	99.39	97.73	72.79

อิเล็คโทรไลต์ 480 mg/l	$Al_2(SO_4)_3$	$Na_2(SO_4)$	$Al_2(SO_4)_3$	$Na_2(SO_4)$
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	22.38	2.14	31.90	2.74
5	73.16	2.25	74.36	2.99
10	96.57	2.37	98.04	3.23
20	99.14	2.40	99.39	3.23
30	99.18	2.49	99.39	3.23

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-9 (ต่อ) ผลของอิเล็คโทรไลต์ต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, SDS 0.25 CMC, Bubble size 40 - 100 μm ,
pH 4, Air Flow rate 8 ml/sec

ความเข้มข้น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l)	0	200	240	280	360
Flotation time (min)	% oil removal				
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.09	9.79	14.38	19.96	4.24
5	0.30	30.98	34.98	38.00	26.20
10	0.50	42.37	59.94	63.51	34.87
20	1.08	62.76	98.55	99.80	97.53
30	2.73	68.88	98.76	99.84	98.38

ความเข้มข้น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l)	0	200	240	280	360
Flotation time (min)	% turbidity removal				
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.24	9.89	11.22	16.16	3.03
5	0.49	17.58	19.39	26.26	11.53
10	0.98	32.97	49.80	53.54	24.06
20	1.71	73.63	98.88	99.90	99.60
30	2.20	77.25	98.98	99.90	99.80

อิเล็คโทรไลต์ 280 mg/l	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Na}_2(\text{SO}_4)$	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Na}_2(\text{SO}_4)$
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	19.96	0.27	16.16	0.25
5	38.00	0.67	26.26	0.50
10	63.51	0.74	53.54	0.50
20	99.80	0.94	99.90	0.74
30	99.84	1.08	99.90	0.99

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-9 (ต่อ) ผลของอิเล็กโทรไลต์ต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) 1 CMC,
Bubble size 40 - 100 μm , pH 4, Air Flow rate 8 ml/sec

ความเข้มข้น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l)	0	80	160	200	400
Flotation time (min)	% oil removal				
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.50	0.26	60.11	27.08	5.18
5	0.56	4.54	67.47	44.29	14.12
10	1.34	4.63	80.88	70.82	30.68
20	1.56	6.75	91.13	74.14	41.68
30	2.23	9.64	95.62	77.40	42.99

ความเข้มข้น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l)	0	80	160	200	400
Flotation time (min)	% turbidity removal				
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.22	1.50	52.21	24.73	10.36
5	0.67	3.01	66.91	45.30	20.54
10	1.57	4.51	77.94	78.56	37.50
20	1.57	9.02	88.97	79.93	51.61
30	1.80	12.78	94.85	79.93	62.32

อิเล็กโทรไลต์ 160 mg/l	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Na}_2(\text{SO}_4)$	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Na}_2(\text{SO}_4)$
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	60.11	0.47	52.21	0.45
5	67.47	0.57	66.91	0.45
10	80.88	1.28	77.94	1.12
20	91.13	2.52	88.97	1.35
30	95.62	2.77	94.85	1.57

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-9 (ต่อ) ผลของอิเล็กโทรไลต์ต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (5 : 5) 1 CMC,
Bubble size 40 - 100 μm , pH 4, Air Flow rate 8 ml/sec

ความเข้มข้น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l)	0	80	120	160	400
Flotation time (min)	% oil removal				
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.61	6.49	14.50	26.96	0.71
5	1.01	13.71	21.89	34.54	39.93
10	1.89	15.58	57.22	73.89	54.34
20	2.04	31.77	62.82	83.86	60.52
30	2.11	47.98	65.70	87.85	62.32

ความเข้มข้น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l)	0	80	120	160	400
Flotation time (min)	% turbidity removal				
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.38	17.17	22.58	28.80	0.91
5	0.56	27.27	36.29	37.86	48.52
10	0.94	30.30	70.97	76.05	62.53
20	1.13	46.46	74.19	88.03	64.81
30	1.50	58.59	75.00	88.35	65.15

อิเล็กโทรไลต์ 160 mg/l	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Na}_2(\text{SO}_4)$	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Na}_2(\text{SO}_4)$
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	26.96	0.61	28.80	0.47
5	34.54	0.91	37.86	1.42
10	73.89	1.19	76.05	1.42
20	83.86	1.31	88.03	1.65
30	87.85	1.43	88.35	1.65

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-9 (ต่อ) ผลของอิเล็คโทรไลต์ต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (8 : 2) 1 CMC,
Bubble size 40 - 100 μm , pH 4, Air Flow rate 8 ml/sec

ความเข้มข้น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l)	0	20	40	160
Flotation time (min)	% oil removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	31.84	1.36	0.90	0.22
5	72.23	2.23	1.03	0.94
10	89.90	3.64	1.70	1.96
20	91.51	4.30	3.94	2.47
30	92.22	5.17	4.20	3.02

ความเข้มข้น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l)	0	20	40	160
Flotation time (min)	% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	45.29	1.63	0.53	0.14
5	75.45	4.07	1.06	0.14
10	91.28	6.50	2.91	0.56
20	92.89	7.32	4.36	1.67
30	93.09	7.32	5.68	2.93

อิเล็คโทรไลต์ 20 mg/l	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Na}_2(\text{SO}_4)$	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Na}_2(\text{SO}_4)$
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.36	0.28	1.63	0.12
5	2.23	0.57	4.07	0.12
10	3.64	0.77	6.50	0.24
20	4.30	0.97	7.32	0.24
30	5.17	1.11	7.32	0.36

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-10 ผลของอัตราการใช้ของอากาศต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, Tween 80 1 CMC, Bubble size 40 - 100 μm ,
pH 7, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 160 mg/l

Air Flow rate (ml/sec)	4	8	14	25	4	8	14	25
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	95.17	88.44	90.92	90.02	95.91	87.57	89.67	88.97
5	96.06	97.12	91.16	90.43	96.11	99.03	89.86	89.17
10	96.10	97.19	91.40	90.61	96.11	99.03	90.25	89.17
20	96.37	99.16	91.59	90.76	96.30	99.03	90.45	89.36
30	96.86	99.17	92.26	91.07	98.73	99.03	94.70	97.51

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB 0.25 CMC, Bubble size 40 - 100 μm ,
pH 7, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 480 mg/l

Air Flow rate (ml/sec)	4	8	14	25	4	8	14	25
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	7.99	22.38	6.12	34.05	3.49	31.90	8.40	23.02
5	9.60	73.16	85.93	97.57	11.21	74.36	82.95	96.03
10	41.56	96.57	94.90	98.66	32.35	98.04	91.60	97.28
20	95.56	99.14	98.19	98.77	95.56	99.39	93.67	97.51
30	98.53	99.18	97.90	98.62	98.73	99.39	94.70	97.51

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, SDS 0.25 CMC, Bubble size 40 - 100 μm ,
pH 4, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 280 mg/l

Air Flow rate (ml/sec)	4	8	14	25	4	8	14	25
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.84	19.96	30.71	14.82	5.46	16.16	6.19	9.47
5	14.02	38.00	85.59	80.47	13.40	26.26	51.65	59.47
10	36.21	63.51	99.73	99.33	24.12	53.54	95.36	99.78
20	76.95	99.80	99.75	99.52	52.47	99.90	99.79	99.89
30	99.32	99.84	99.95	99.95	98.76	99.90	99.79	99.89

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-10 (ต่อ) ผลของอัตราการไหลของอากาศต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) 1 CMC,
Bubble size 40 - 100 μm , pH 7, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 160 mg/l

Air Flow rate (ml/sec)	4	8	14	25	4	8	14	25
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	29.56	60.11	27.39	12.02	31.76	52.21	28.45	20.80
5	31.89	67.47	28.91	20.31	32.43	66.91	30.17	22.40
10	36.08	80.88	30.20	22.42	33.11	77.94	31.03	24.80
20	36.50	91.13	31.89	25.12	34.46	88.97	32.76	25.60
30	36.74	95.62	32.38	27.34	35.81	94.85	33.62	27.20

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (5 : 5) 1 CMC,
Bubble size 40 - 100 μm , pH 7, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 160 mg/l

Air Flow rate (ml/sec)	4	8	14	25	4	8	14	25
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	7.13	26.96	18.98	0.60	8.64	28.80	23.58	0.52
5	19.87	34.54	24.81	3.47	22.22	37.86	30.08	4.15
10	40.42	73.89	28.22	23.43	41.67	76.05	38.21	30.57
20	65.87	83.86	29.77	23.72	76.85	88.03	39.02	31.09
30	67.06	87.85	31.84	23.98	78.40	88.35	39.84	31.61

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (8 : 2) 1 CMC,
Bubble size 40 - 100 μm , pH 7, ไม่เติม $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Air Flow rate (ml/sec)	4	8	14	25	4	8	14	25
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2.07	31.84	6.04	0.97	2.02	45.29	5.62	1.10
5	4.38	72.23	14.30	10.82	4.38	75.45	19.28	13.60
10	5.33	89.90	42.05	39.69	6.06	91.28	50.60	42.65
20	7.82	91.51	66.00	54.85	8.08	92.89	75.10	72.06
30	32.03	92.22	73.07	66.15	34.68	93.09	85.14	74.47

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-11 ผลของค่าความเป็นกรด – เบสต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, Tween 80 1 CMC, Bubble size 40 - 100 μm ,
Air Flow rate 8 ml/sec, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 160 mg/l

ค่า pH	4	5	7	9	4	5	7	9
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.58	9.39	88.44	4.56	0.40	4.45	87.57	1.99
5	0.85	18.74	97.12	4.85	0.40	13.48	99.03	2.49
10	1.38	28.76	97.19	5.09	0.40	27.68	99.03	2.99
20	1.59	62.67	99.16	5.57	0.40	58.72	99.03	2.99
30	1.86	87.93	99.17	6.31	0.40	83.51	99.03	3.48

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB 0.25 CMC, Bubble size 40 - 100 μm ,
Air Flow rate 8 ml/sec, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 480 mg/l

ค่า pH	4	5	7	9	4	5	7	9
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2.40	1.95	22.38	6.60	0.18	8.76	31.90	7.96
5	2.88	15.63	73.16	35.00	0.18	17.96	74.36	26.11
10	1.94	58.06	96.57	69.02	0.73	53.56	98.04	55.75
20	2.42	82.87	99.14	79.14	2.92	82.04	99.39	81.56
30	4.74	82.33	99.18	83.94	4.20	83.24	99.39	82.01

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, SDS 0.25 CMC, Bubble size 40 - 100 μm ,
Air Flow rate 8 ml/sec, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 280 mg/l

ค่า pH	4	5	7	9	4	5	7	9
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	19.96	1.85	1.65	1.32	16.16	1.72	1.96	1.61
5	38.00	4.49	5.01	3.77	26.26	3.45	7.84	3.23
10	63.51	6.77	7.01	6.43	53.54	5.17	4.76	4.84
20	99.80	8.30	7.66	7.15	99.90	6.90	6.61	6.45
30	99.84	8.43	8.24	7.28	99.90	8.62	7.57	6.45

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-11 (ต่อ) ผลของค่าความเป็นกรด – เบสต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) 1 CMC,
Bubble size 40 - 100 μm , Air Flow rate 8 ml/sec, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 160 mg/l

ค่า pH	4	5	7	9	4	5	7	9
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00
2	1.93	6.24	60.11	2.44	0.29	8.04	52.21	3.01
5	4.61	12.05	67.47	8.31	0.44	19.61	66.91	13.15
10	5.14	16.21	80.88	11.35	0.88	30.20	77.94	19.18
20	5.72	29.58	91.13	11.80	1.02	44.31	88.97	19.73
30	5.93	38.40	95.62	13.80	1.17	54.90	94.85	20.27

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (5 : 5) 1 CMC,
Bubble size 40 - 100 μm , Air Flow rate 8 ml/sec, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 160 mg/l

ค่า pH	4	5	7	9	4	5	7	9
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.24	3.43	26.96	0.78	0.95	6.40	28.80	0.20
5	1.18	7.63	34.54	1.09	1.38	8.33	37.86	0.30
10	2.13	12.40	73.89	1.28	2.12	13.41	76.05	0.61
20	4.69	17.70	83.86	1.62	5.19	23.67	88.03	1.11
30	9.20	25.93	87.85	1.89	11.22	36.47	88.35	1.32

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (8 : 2) 1 CMC,
Bubble size 40 - 100 μm , Air Flow rate 8 ml/sec, ไม่เติม $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

ค่า pH	4	5	7	9	4	5	7	9
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3.01	1.23	31.84	0.48	4.75	1.82	45.29	1.39
5	4.28	2.80	72.23	1.82	5.08	3.03	75.45	2.08
10	5.59	3.04	89.90	2.39	6.10	3.64	91.28	3.47
20	7.76	4.08	91.51	3.37	7.12	4.24	92.89	4.17
30	8.31	8.00	92.22	3.95	7.46	8.48	93.09	4.86

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-12 ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, pH 7, Bubble size 40 - 100 μm , Air Flow rate 8 ml/sec
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 160 mg/l

สารลดแรงตึงผิว	ไม่เติม Tween80	Tween80 0.25 CMC	Tween80 1 CMC	Tween80 2 CMC	ไม่เติม Tween80	Tween80 0.25 CMC	Tween80 1 CMC	Tween80 2 CMC
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.71	66.61	88.44	2.23	2.35	64.24	87.57	4.36
5	3.19	69.74	97.12	5.27	4.58	67.24	99.03	5.37
10	9.05	71.38	97.19	10.96	9.99	69.59	99.03	12.75
20	15.39	73.19	99.16	21.50	21.03	73.45	99.03	26.17
30	21.13	73.88	99.17	38.67	28.79	79.66	99.03	45.30

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, pH 7, Bubble size 40 - 100 μm , Air Flow rate 8 ml/sec
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 480 mg/l

สารลดแรงตึงผิว	ไม่เติม CTAB	CTAB 0.25 CMC	CTAB 1 CMC	ไม่เติม CTAB	CTAB 0.25 CMC	CTAB 1 CMC
Flotation time (min)	% oil removal			% turbidity removal		
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.90	22.38	0.55	0.63	31.90	0.53
5	1.02	73.16	1.16	2.52	74.36	1.33
10	1.06	96.57	2.31	2.52	98.04	1.86
20	1.20	99.14	2.75	3.14	99.39	2.12
30	1.30	99.18	2.82	4.40	99.39	2.65

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-12 (ต่อ) ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, pH 4, Bubble size 40 - 100 μm , Air Flow rate 8 ml/sec
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 280 mg/l

สารลดแรงตึงผิว	ไม่เติม SDS	SDS 0.25 CMC	SDS 1 CMC	ไม่เติม CTAB	SDS 0.25 CMC	SDS 1 CMC
Flotation time (min)	% oil removal			% turbidity removal		
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	4.00	19.96	0.19	5.56	16.16	0.28
5	25.27	38.00	2.23	19.44	26.26	0.55
10	35.82	63.51	2.68	38.89	53.54	0.83
20	48.91	99.80	3.49	58.33	99.90	1.11
30	58.91	99.84	5.65	69.44	99.90	1.11

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, pH 7, Bubble size 40 - 100 μm , Air flow rate 8 ml/sec
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 160 mg/l

สารลดแรงตึงผิว	ไม่เติม CTAB: Tween80 (2:8)	CTAB: Tween80 (2:8) 0.25 CMC	CTAB: Tween80 (2:8) 1 CMC	CTAB: Tween80 (2:8) 2 CMC	ไม่เติม CTAB: Tween80 (2:8)	CTAB: Tween80 (2:8) 0.25 CMC	CTAB: Tween80 (2:8) 1 CMC	CTAB: Tween80 (2:8) 2 CMC
Flotation time (min)	% oil removal				% turbidity removal			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.71	1.93	60.11	4.85	2.35	1.86	52.21	7.65
5	3.19	4.92	67.47	6.31	4.58	2.41	66.91	8.60
10	9.05	7.70	80.88	11.75	9.99	5.01	77.94	10.28
20	15.39	14.22	91.13	18.47	21.03	15.96	88.97	20.75
30	21.13	27.48	95.62	23.34	28.79	29.50	94.85	26.92

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-12 (ต่อ) ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, pH 7, Bubble size 40 - 100 μm , Air flow rate 8 ml/sec
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 160 mg/l

สารลดแรงตึงผิว	ไม่เติม CTAB: Tween80 (5:5)	CTAB: Tween80 (5:5) 0.25 CMC	CTAB: Tween80 (5:5) 1 CMC	CTAB: Tween80 (5:5) 2 CMC	ไม่เติม CTAB: Tween80 (5:5)	CTAB: Tween80 (5:5) 0.25 CMC	CTAB: Tween80 (5:5) 1 CMC	CTAB: Tween80 (5:5) 2 CMC
	% oil removal				% turbidity removal			
Flotation time (min)								
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.71	20.20	26.96	5.32	2.35	22.94	28.80	18.93
5	3.19	29.08	34.54	13.05	4.58	30.88	37.86	19.64
10	9.05	58.91	73.89	14.42	9.99	57.89	76.05	21.07
20	15.39	60.42	83.86	21.74	21.03	62.17	88.03	22.86
30	21.13	63.40	87.85	22.37	28.79	64.62	88.35	23.93

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, pH 7, Bubble size 40 - 100 μm , Air flow rate 8 ml/sec
 ,ไม่เติม $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

สารลดแรงตึงผิว	ไม่เติม CTAB: Tween80 (8:2)	CTAB: Tween80 (8:2) 0.25 CMC	CTAB: Tween80 (8:2) 1 CMC	CTAB: Tween80 (8:2) 2 CMC	ไม่เติม CTAB: Tween80 (8:2)	CTAB: Tween80 (8:2) 0.25 CMC	CTAB: Tween80 (8:2) 1 CMC	CTAB: Tween80 (8:2) 2 CMC
	% oil removal				% turbidity removal			
Flotation time (min)								
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.69	1.12	31.84	1.49	0.98	1.24	45.29	2.17
5	0.98	2.48	72.23	3.09	1.22	1.45	75.45	3.08
10	1.21	2.81	89.90	6.10	1.46	1.86	91.28	3.44
20	1.40	3.17	91.51	6.89	1.46	2.07	92.89	3.80
30	1.59	3.33	92.22	9.20	1.71	2.27	93.09	4.17

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-13 ผลของขนาดของฟองอากาศต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, Tween 80 1CMC, Air Flow rate 8 ml/sec,
 $Al_2(SO_4)_3$ 160 mg/l, pH 7

ขนาดของฟองอากาศ	40 - 100 μm	100 - 160 μm	40 - 100 μm	100 - 160 μm
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	88.44	71.17	87.57	72.73
5	97.12	92.15	99.03	88.77
10	97.19	92.48	99.03	90.91
20	99.16	93.05	99.03	92.25
30	99.17	93.11	99.03	92.51

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB 0.25 CMC, Air Flow rate 8 ml/sec,
 $Al_2(SO_4)_3$ 480 mg/l, pH 7

ขนาดของฟองอากาศ	40 - 100 μm	100 - 160 μm	40 - 100 μm	100 - 160 μm
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	22.38	19.98	31.90	16.05
5	73.16	38.08	74.36	40.35
10	96.57	93.21	98.04	94.07
20	99.14	99.13	99.39	99.30
30	99.18	99.16	99.39	99.30

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, SDS 0.25 CMC, Air Flow rate 8 ml/sec,
 $Al_2(SO_4)_3$ 280 mg/l, pH 4

ขนาดของฟองอากาศ	40 - 100 μm	100 - 160 μm	40 - 100 μm	100 - 160 μm
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	19.96	10.53	16.16	6.84
5	38.00	31.86	26.26	21.43
10	63.51	46.68	53.54	42.86
20	99.80	99.43	99.90	99.59
30	99.84	99.44	99.90	99.59

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-13(ต่อ) ผลของขนาดของฟองอากาศต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) 1 CMC,
Air flow rate 8 ml/sec $Al_2(SO_4)_3$ 160 mg/l, pH 7

ขนาดของฟองอากาศ	40 - 100 μ m	100 - 160 μ m	40 - 100 μ m	100 - 160 μ m
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	60.11	22.25	52.21	35.69
5	67.47	24.22	66.91	45.61
10	80.88	28.54	77.94	46.46
20	91.13	29.32	88.97	48.44
30	95.62	30.79	94.85	48.73

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (5 : 5) 1 CMC,
Air flow rate 8 ml/sec, $Al_2(SO_4)_3$ 160 mg/l, pH 7

ขนาดของฟองอากาศ	40 - 100 μ m	100 - 160 μ m	40 - 100 μ m	100 - 160 μ m
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	26.96	31.68	28.80	20.11
5	34.54	32.49	37.86	41.07
10	73.89	34.99	76.05	56.12
20	83.86	40.84	88.03	66.24
30	87.85	51.42	88.35	67.00

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (8 : 2) 1 CMC,
Air flow rate 8 ml/sec, ไม่เติม $Al_2(SO_4)_3$, pH 7

ขนาดของฟองอากาศ	40 - 100 μ m	100 - 160 μ m	40 - 100 μ m	100 - 160 μ m
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	31.84	0.54	45.29	1.69
5	72.23	2.38	75.45	3.37
10	89.90	3.17	91.28	3.93
20	91.51	5.13	92.89	4.49
30	92.22	5.58	93.09	5.62

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-14 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันเริ่มต้นต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Tween 80 CMC, Air Flow rate 8 ml/sec, $Al_2(SO_4)_3$ 160 mg/l, pH 7,

Bubble size 40 - 100 μ m

ความเข้มข้นของ น้ำมันเริ่มต้น	500 mg/l	1600 mg/l	500 mg/l	1600 mg/l
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	88.44	1.07	87.57	0.32
5	97.12	1.41	99.03	0.32
10	97.19	1.63	99.03	1.60
20	99.16	2.10	99.03	1.92
30	99.17	2.46	99.03	2.08

เงื่อนไขในการทดลอง: CTAB 0.25 CMC, Air Flow rate 8 ml/sec, $Al_2(SO_4)_3$ 480 mg/l, pH 7,

Bubble size 40 - 100 μ m

ความเข้มข้นของ น้ำมันเริ่มต้น	500 mg/l	1600 mg/l	500 mg/l	1600 mg/l
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	22.38	29.20	31.90	36.60
5	73.16	31.27	74.36	42.55
10	96.57	38.78	98.04	43.40
20	99.14	40.76	99.39	45.11
30	99.18	42.97	99.39	45.96

เงื่อนไขในการทดลอง: SDS 0.25 CMC, Air Flow rate 8 ml/sec, $Al_2(SO_4)_3$ 280 mg/l, pH 4,

Bubble size 40 - 100 μ m

ความเข้มข้นของ น้ำมันเริ่มต้น	500 mg/l	1600 mg/l	500 mg/l	1600 mg/l
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	19.96	0.25	16.16	0.41
5	38.00	1.30	26.26	0.69
10	63.51	1.71	53.54	0.82
20	99.80	2.33	99.90	1.10
30	99.84	2.73	99.90	1.24

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-14 (ต่อ) ผลของความเข้มข้นของน้ำมันเริ่มต้นต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น
เงื่อนไขในการทดลอง: CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (2 : 8) 1 CMC, Air flow rate 8 ml/sec,

$Al_2(SO_4)_3$ 160 mg/l, pH 7, Bubble size 40 – 100 μm

ความเข้มข้นของ น้ำมันเริ่มต้น	500 mg/l	1600 mg/l	500 mg/l	1600 mg/l
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	49.15	0.42	49.09	0.53
5	53.64	1.70	64.55	2.12
10	59.31	2.52	65.45	2.65
20	63.57	3.31	66.36	3.70
30	65.14	3.95	67.27	5.29

เงื่อนไขในการทดลอง: CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (5 : 5) 1 CMC, Air flow rate 8 ml/sec,

$Al_2(SO_4)_3$ 160 mg/l, pH 7, Bubble size 40 – 100 μm

ความเข้มข้นของ น้ำมันเริ่มต้น	500 mg/l	1600 mg/l	500 mg/l	1600 mg/l
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	26.96	0.07	28.80	0.34
5	34.54	0.84	37.86	0.80
10	73.89	2.43	76.05	1.03
20	83.86	4.01	88.03	2.73
30	87.85	4.21	88.35	5.92

เงื่อนไขในการทดลอง: CTAB : Tween 80 ที่อัตราส่วน (8 : 2) 1 CMC, Air flow rate 8 ml/sec,

ไม่เติม $Al_2(SO_4)_3$, pH 7, Bubble size 40 – 100 μm

ความเข้มข้นของ น้ำมันเริ่มต้น	500 mg/l	1600 mg/l	500 mg/l	1600 mg/l
Flotation time (min)	% oil removal		% turbidity removal	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	31.84	0.36	45.29	0.77
5	72.23	0.74	75.45	1.15
10	89.90	1.01	91.28	1.54
20	91.51	1.30	92.89	1.92
30	92.22	2.41	93.09	2.69

ภาคผนวก ค (ต่อ)

ตารางที่ ค-15 ผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 80) ต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่น

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, Bubble size 40 - 100 μm , pH 7, Air Flow rate 8 ml/sec, Flotation time 30 min, ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่อัตราส่วนต่างๆ 1 CMC

อัตราส่วนระหว่าง CTAB:Tween 80	% oil removal		% turbidity removal	
	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 0 mg/l	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 160 mg/l	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 0 mg/l	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 160 mg/l
10:0	5.33	2.16	5.45	2.11
8:2	92.22	3.02	93.09	2.93
5:5	2.11	87.85	1.50	88.35
2:8	2.23	95.62	1.80	94.85
0:10	4.96	99.17	3.71	99.03

ตารางที่ ค-16 ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.25 CMC และ 1 CMC ต่อการขจัดน้ำมันและการลดความขุ่นกรณีที่ไม่เติมอิเล็กโทรไลต์

เงื่อนไขในการทดลอง: Cutting Oil 500 mg/l, Bubble size 40 - 100 μm , pH 7, Air Flow rate 8 ml/sec, Flotation time 30 min

สารลดแรงตึงผิว	% oil removal		% turbidity removal	
	0.25 CMC	1 CMC	0.25 CMC	1 CMC
Tween 80	2.02	4.96	1.53	3.71
CTAB	3.92	5.33	3.47	5.45
SDS	2.63	1.78	2.11	1.60
CTAB:Tween 80 (2:8)	1.42	2.23	0.99	1.80
CTAB:Tween 80 (5:5)	1.81	2.11	1.23	1.50
CTAB:Tween 80 (8:2)	3.33	92.22	2.27	93.09

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชุลีกร ชุกกลิ่น เกิดวันที่ 30 เดือนกันยายน พ.ศ.2519 จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ในปีการศึกษา 2541 และทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ประกันคุณภาพที่บริษัทไทยเลเธอร์ โคตดิ่ง จำกัด และในตำแหน่งเจ้าหน้าที่วิจัยและพัฒนา บริษัทไลอ้อน แห่งประเทศไทยจำกัด ก่อนเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ. 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย