

รายงานฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและทดลองระบบฟรอตโฟลเทชันสำหรับ
การบำบัดน้ำเสีย

DESIGN AND TEST OF FROTH FLOTATION SYSTEM
FOR WASTEWATER TREATMENT

โดย

นาย สุเมธ ขมเดช

วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

628.3
ส843ก

งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2539

ตุลาคม 2541



รายงานฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและทดลองระบบฟรอตโฟลเทชันสำหรับ
การบำบัดน้ำเสีย

DESIGN AND TEST OF FROTH FLOTATION SYSTEM
FOR WASTEWATER TREATMENT

โดย

นาย สุเมธ ชวเดช

วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2539

ตุลาคม 2541

I18358622

๕๐ ๓๐.๑ 254๒

กองส่งเสริมและประสานงานวิจัย สทศ.
มอบให้หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

688.3
ศ848๓

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณประจำปี 253๑ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงที่ทางวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ให้การสนับสนุนด้วยดี และในการอำนวยความสะดวกการปฏิบัติงานวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณบริษัท ทีโอเอ จำกัด และการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ในการอนุเคราะห์การเก็บตัวอย่างน้ำเสียใช้ในงานวิจัยนี้ งานวิจัยนี้ลุล่วงด้วยดีจากคุณพรศรินทร์ ตันตยาคม และคุณอโนชา เกตุเวชช์ ที่ได้ช่วยดำเนินงานทดลองและช่วยจัดทำรายงานฉบับนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุเมธ ชวเดช : การออกแบบและทดลองระบบฟรอตโฟลตเทชันสำหรับบำบัดน้ำเสีย (DESIGN AND TEST OF FROTH FLOTATION SYSTEM FOR WASTEWATER TREATMENT), 48 หน้า

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียดีไอพีและน้ำเสียสถานีบริการน้ำมัน โดยกระบวนการทำให้เป็นฟองลอย สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียดีไอพี คือ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต(เอสดีเอส) เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์(ซีทีเอบี) และโนนิลฟีนอลเอทอกซีเลท(ทีอีอาร์ไอซี เอ็น10) ในกรณีการบำบัดน้ำเสียสถานีบริการน้ำมันจะใช้สารแคทไอออนิกพอลิอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ เบ็ทซีโนวัสปอลิเมอร์ 2680 ถึงทดลองต้นแบบทำด้วยเหล็กไร้สนิม แบ่งเป็น 3 ส่วน มีความจุรวม 16 ลิตร ส่วนบนของถังมีเครื่องกวาดฟอง จากผลการทดลองพบว่า สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ ประสิทธิภาพการบำบัดขึ้นกับเวลาเก็บกัก ชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว โดยสารลดแรงตึงผิวเอสดีเอสให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงสุด สภาวะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ได้แก่ เวลาเก็บกักเท่ากับ 0.5 ชั่วโมง และความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเอสดีเอสเท่ากับ 1 เท่าของค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ ซีเอ็มซี สำหรับน้ำเสียจริงดีไอพี เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว 1 เท่าของค่าซีเอ็มซี ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพี และซีไอดีเท่ากับ 14.90 และ 10.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับน้ำเสียสถานีบริการ เมื่อเติมสารแคทไอออนิกพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SUMAETH CHAVADEJ : DESIGN AND TEST OF FROTH FLOTATION SYSTEM FOR WASTEWATER TREATMENT, 48 PP.

The objective of this study was to determine the optimum conditions for treating DOP wastewater and petrol-station wastewater by using froth flotation process. Surfactants used for studying the treatment of DOP wastewater were sodium dodecyl sulfate(SDS), cetyltrimethyl ammonium bromide(CTAB) and nonylphenol ethoxylateNP(EO)₁₀. In the case of treatment of petrol-station wastewater,cationic polyelectrolyte used was BETZ NOVUS POLYMER 2680. The flotation unit made of stainless steel had three compartments in series, total working volume of 16 litres and a scraper on the top of the flotation tank for removal of the foam. From the experimental results, it was found that, for the synthetic wastewater, the treatment efficiency depended upon the hydraulic retention time, type and concentration of surfactant used. An addition of SDS gave the highest treatment efficiency. The optimum conditions for treating the synthetic wastewater were HRT of 0.5h and the SDS concentration of 1 CMC. The treatment efficiencies for DOP and COD removals were 14.90% and 10.50%, respectively. In the case of petrol-station wastewater, the treatment efficiency was 70% when the cationic polyelectrolyte concentration of 150 mg/l was used.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญเรื่อง.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทรรศน์	
2.1 สารลดแรงตึงผิว.....	3
2.2 การดูดซับและความเข้มข้นวิกฤติของการเกิดไมเซลล์.....	4
2.3 หลักการทำให้เป็นฟองลอย.....	6
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
3. การดำเนินงานวิจัย	
3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	10
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	11
3.3 อุปกรณ์ต้นแบบระบบทำให้เป็นฟองลอย.....	13
3.4 แผนการทดลอง.....	14
3.5 การวิเคราะห์.....	16
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์.....	18
4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบทำให้เป็นฟองลอย.....	20
4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจริงดีไอพีด้วยระบบทำให้เป็นฟองลอย.....	23
4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสถานีบริการน้ำมันด้วยระบบทำให้เป็นฟองลอย.....	24
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	26
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	26
รายการอ้างอิง.....	28
ภาคผนวก.....	30

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากห้องน้ำ และการล้างรด โดยเก็บตัวอย่างแบบ Composite ทุกๆ 1 ชั่วโมง.....	11
ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของสารลดแรงตึงผิว.....	12
ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของสารดีไอพี.....	12
ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ที่ใช้ในการทดลองนี้.....	18
ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพีที่เวลาเก็บกักต่างๆของน้ำเสียสังเคราะห์.....	20
ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพีของน้ำเสียสังเคราะห์ โดยระบบทำให้เป็นฟองลอย โดยใช้สารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารลดแรงตึงผิว ที่เวลาเก็บกักที่ 0.5 ชั่วโมง และอัตราการไหลของอากาศคงที่ที่ 400 ลิตร/ชั่วโมง.....	21
ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพีที่ความเข้มข้นและชนิดของสารลดแรงตึงผิวต่างๆ.....	23
ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจริงโดยระบบทำให้เป็นฟองลอย.....	24
ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันของสถานีบริการน้ำมันโดยระบบทำให้เป็นฟองลอย โดยใช้สารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลาเก็บกักที่ 0.5 ชั่วโมง และอัตราการไหลของอากาศคงที่ที่ 400 ลิตร/ชม.....	25
ตารางที่ ก-1 ค่าตรวจแก้แรงตึงผิวของการวัดด้วยวิธีด้วยวงแหวน.....	32
ตารางที่ ข-1 แสดงผลการศึกษาค่าซีเอ็มซีของ SDS.....	34
ตารางที่ ข-2 แสดงผลการศึกษาค่าซีเอ็มซีของ CTAB.....	34
ตารางที่ ข-3 แสดงผลการศึกษาค่าซีเอ็มซีของ TERIC N10.....	35
ตารางที่ จ-1 ข้อมูลการทดลองเพื่อหาเวลาเก็บกักที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์.....	41
ตารางที่ จ-2 ข้อมูลการทดลองเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ SDS สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์.....	42
ตารางที่ จ-3 ข้อมูลการทดลองเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ CTAB สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์.....	43
ตารางที่ จ-4 ข้อมูลการทดลองเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ TERIC N10 สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์.....	44
ตารางที่ ฉ-1 ข้อมูลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดสารดีไอพีของน้ำเสียดีไอพี.....	45
ตารางที่ ฉ-2 ข้อมูลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของน้ำเสียดีไอพี.....	45
ตารางที่ ซ-1 ข้อมูลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันของน้ำเสียสถานีบริการ.....	46
ตารางที่ ซ-1 แสดงค่า P-Value.....	47
ตารางที่ ซ-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ.....	48

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โมเลกุลสารลดแรงตึงผิว.....	3
รูปที่ 2.2 โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในการเกิดไมเซลล์.....	3
รูปที่ 2.3 การดูดซับและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว.....	4
รูปที่ 2.4 แสดงแรงระหว่างโมเลกุลในสารละลาย.....	5
รูปที่ 2.5 ความคงตัวของฟอง.....	5
รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว.....	6
รูปที่ 2.7 กระบวนการทำให้เป็นฟองลอย.....	7
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตสารดีไอพี.....	10
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงระบบทำให้เป็นฟองลอย.....	13
รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายระบบการทำให้เป็นฟองลอยที่ใช้ในการทดลองนี้.....	14
รูปที่ 4.1 ค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารละลาย SDS.....	19
รูปที่ 4.2 ค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารละลาย CTAB.....	19
รูปที่ 4.3 ค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารละลาย TERIC N10.....	19
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดที่เวลาเก็บกักต่างๆของน้ำเสียสังเคราะห์.....	20
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อใช้สาร SDS ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 1.0 และ 1.5CMC.....	21
รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อใช้สาร CTAB ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 1.0 และ 1.5CMC.....	22
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อใช้สาร TERIC N10 ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 1.0 และ 1.5CMC.....	22
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของการบำบัดสารดีไอพี เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว SDS, CTAB และ TERIC N10 ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	23
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันที่ความเข้มข้นต่างๆของสาร Cationic polyelectrolyte ในการบำบัดน้ำเสียสถานบริการ.....	25

บทที่ 1 บทนำ



น้ำมันและไขมันเป็นมลสารที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำมันและไขมันมักพบในน้ำเสียจากร้านอาหาร สถานีจำหน่ายน้ำมัน เป็นต้น น้ำมันและไขมันเป็นสารประกอบพวกแอลกอฮอล์ หรือพวกกลีเซอรอล รวมกับพวกกรดไขมันต่างๆ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีเสถียรภาพ และย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ยาก นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำชีวะภาพอย่างมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดสารน้ำมันก่อนไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือไหลเข้าสู่ระบบบำบัดชีวะภาพ ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม มีข้อกำหนดว่าปริมาณน้ำมันและไขมันต้องไม่เกิน 5.0 มก/ล ในการกำจน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสียมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีการทำให้ลอย(Flotation) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย และประสิทธิภาพในการกำจัดค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ การแยกโดยการทำให้ลอยเป็นวิธีการที่ทำให้ไขมันและไขมัน ซึ่งมีน้ำหนักเบาให้ลอยขึ้นโดยอาศัยแรงลอยตัวของฟองอากาศพองสิ่งที่ต้องการแยกลอยขึ้นสู่บริเวณชั้นบนของผิวหน้า ซึ่งน้ำมันที่บริเวณผิวหน้าจะถูกกวาดออก หรือล้นออกโดยระบบทำให้ลอยขึ้น จะใช้เวลาในการแยกสั้นกว่าวิธีตกตะกอน การทำให้ลอยที่ใช้ในการบำบัดมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ

วิธีที่ 1 Dissolved-air flotation(DAF) หลักการคือ อัดอากาศลงในน้ำเสียภายใต้ความดันประมาณ 5 บรรยากาศ จากนั้นลดความดันให้เข้าสู่สภาวะของความดันบรรยากาศ ฟองอากาศจะหลุดออกมา

วิธีที่ 2 Air flotation หลักการคือ การเติมอากาศ หรือการเป่าอากาศลงในน้ำเสียโดยตรง

วิธีที่ 3 Vacuum flotation หลักการคือ น้ำเสียที่อิ่มตัวด้วยอากาศจะไหลเข้าสู่ถังลอยซึ่งปิดหมด ภายในถังถูกทำให้เป็นสุญญากาศ ทำให้อากาศที่ละลายในน้ำเสียหลุดออกมาเป็นฟองเล็กๆ

ทั้งสามวิธีของระบบการทำให้ลอยที่ได้กล่าวข้างต้นนั้นระบบ DAF มีการประยุกต์ใช้มากที่สุด อนึ่งยังมีวิธีที่มีการพัฒนาขึ้นในระยะหลังที่เรียกว่า การทำให้เป็นฟองลอย(Froth Flotation) ซึ่งจะมีการเติมสารลดแรงตึงผิวลงไปในระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการทำให้ลอยอื่นๆ พบว่า ระบบทำให้เป็นฟองลอยมีความต้องการพลังงานที่ต่ำ จึงทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำ ใช้เวลาในการบำบัดสั้น และยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันได้สูง โดยสารลดแรงตึงผิวมีคุณสมบัติที่ทำให้ฟองที่เกิดขึ้นมีความคงตัว และจับกับสารน้ำมันได้ดี และสารลดแรงตึงผิวที่ใช้กันยังสามารถถูกบำบัดได้โดยระบบทางชีวภาพอีกด้วย(Biodegradable) ด้วยเหตุผลดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงเลือกระบบทำให้เป็นฟองลอยในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีสารน้ำมัน

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกน้ำเสีย 2 ประเภทในการทดลอง คือ น้ำเสียที่มาจากการผลิตสารพลาสติกไซเซออร์อันไดแก่ สารดีโอพี [Di-(2-ethylhexyl)phthalate, DEHP ดีโอพี] ซึ่งจัดว่าเป็นสารจำพวกน้ำมันใช้เป็นสารเติมแต่งในพลาสติก เพื่อช่วยในการขึ้นรูป สารดีโอพีที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมมาจากกระบวนการผลิต และจากการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีสารดีโอพีเป็นส่วนประกอบ ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ สารที่เป็นส่วนประกอบของพลาสติก PVC สารดีโอพีเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่ออิมูโรวายด์ ซึ่งเป็นต่อมควบคุมการเติบโตของร่างกาย และยังทำลายการผลิตฮอร์โมนทางเพศในชายด้วย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการสืบพันธุ์ของมนุษย์ในอนาคต และน้ำเสียอีก

ประเภทที่ใช้ในการทดลอง คือ น้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน ซึ่งพบว่าปริมาณสารน้ำมันปนเปื้อนค่อนข้างสูง น้ำเสียทั้ง 2 ประเภทนี้จะก่อปัญหาในการบำบัดโดยระบบชีวมวล ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จะก่อประโยชน์ต่อการบำบัดน้ำเสียดังกล่าวอย่างมาก โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาระบบทำให้เป็นฟองลอยในการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันปนอยู่

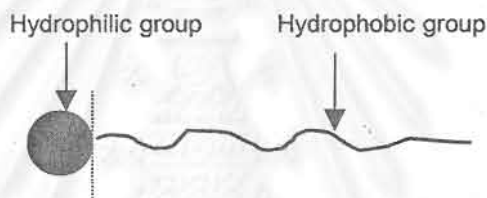


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2 วารสารปริทรรศน์

2.1 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว(Surfactant) เป็นคำย่อของ Surface active agent เป็นสารที่มีสมบัติในการดูดซับพื้นผิวระหว่างเฟส ทำให้แรงตึงผิว(Surface tension) ของสารละลายลดต่ำลง สารลดแรงตึงผิวมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ(Hydrophilic) เป็นส่วนหัว และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ(Hydrophobic)เป็นส่วนหาง ดังแสดงในดังรูปที่ 2.1 โดยส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวชอบน้ำจะละลายน้ำได้ ส่วนหางจะเป็นอนุพันธ์ของสารอินทรีย์ซึ่งจะเป็นโซ่ยาว สามารถแบ่งได้ 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ ไฮโดรคาร์บอน, ฟลูออโรคาร์บอน และสารพอลิเมอร์พวกซิลิโคน (Rosen, 1989)



รูปที่ 2.1 โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว (Rosen, 1989)

สารลดแรงตึงผิวแบ่งเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ตามธรรมชาติของส่วนหัวคือ แคทไอออนิก(Cationic Surfactant), แอนไอออนิก(Anionic Surfactant), นอนไอออนิก(Nonionic Surfactant) และสวิตเตอร์ไอออนิก(Zwitterionic Surfactant)

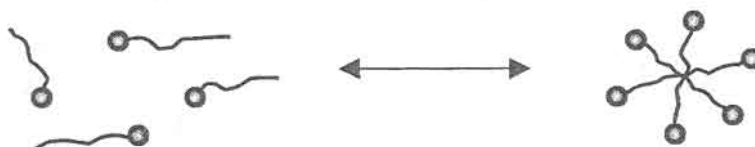
2.1.1 แอนไอออนิก ส่วนหัวเป็นประจุลบ เช่น $\text{RC}_6\text{H}_4\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ (alkylbenzene sulfonate)

2.1.2 แคทไอออนิก ส่วนหัวเป็นประจุบวก เช่น $\text{RNH}_3^+ \text{Cl}^-$ (salt of a long-chain amine), $\text{RN}(\text{CH}_3)_3^+ \text{Cl}^-$ (quatery ammonium chloride)

2.1.3 นอนไอออนิก ส่วนหัวไม่มีประจุ เช่น $\text{RCOOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OH}$ (monoglyceride of long-chain fatty acid), $\text{RC}_6\text{H}_4(\text{OC}_2\text{H}_4)_x\text{OH}$ (Polyoxyethylenated alkylphenol)

2.1.4 สวิตเตอร์ไอออนิก ส่วนหัวมีทั้งประจุลบ และบวก เช่น $\text{RN}^+\text{H}_2\text{CH}_2\text{COO}^-$ (Long-chain amino acid), $\text{RN}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3^-$ (Sulfobetaine)

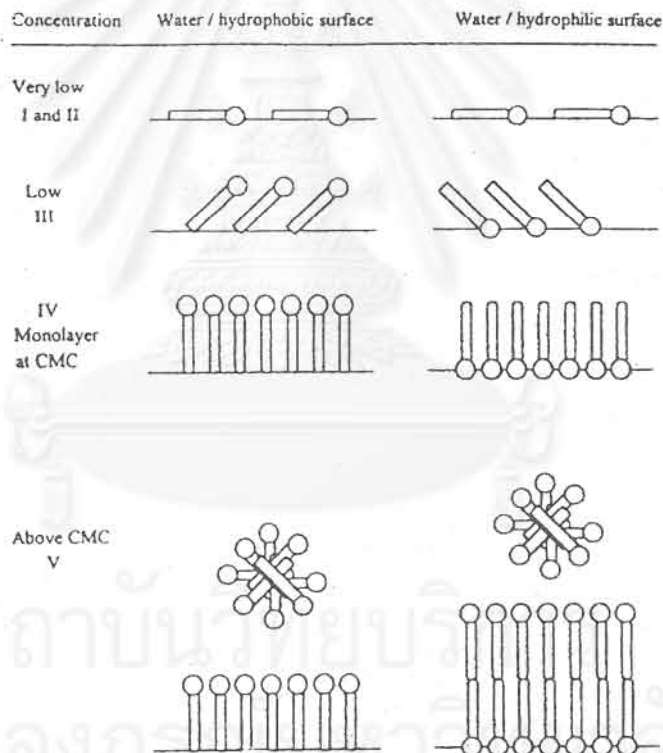
ที่ความเข้มข้นสูงเพียงพอในสารละลาย โมเลกุลสารลดแรงตึงผิวจะก่อดำอยู่ในรูปของไมเซลล์ (Micelles) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในการเกิดไมเซลล์(Rosen, 1989)

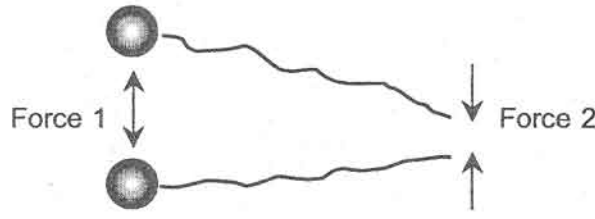
2.2 การดูดซับและความเข้มข้นวิกฤติของการเกิดไมเซลล์

การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวของแข็งขึ้นกับความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวในสารละลายดังแสดงในรูปที่ 2.3 ที่ความเข้มข้นต่ำๆ(I และ II) โมเลกุลจะวางตัวในแนวระนาบบนพื้นผิว ขณะที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น(III) จำนวนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะไม่มีที่ว่างเพียงพอสำหรับโมเลกุลที่จะจัดวางตัวในแนวระนาบ ดังนั้นมันจะเริ่มเรียงตัวใหม่ การเรียงตัวขึ้นกับธรรมชาติของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่มีอยู่ ถ้ามีโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวอยู่เพียงพอก็จะเรียงตัวอยู่ในรูปแบบชั้นของโมเลกุล(Unimolecular layer) ซึ่งที่ความเข้มข้นนี้จะสำคัญ และเป็นที่ยึดในชื่อของ "ความเข้มข้นวิกฤติของการเกิดไมเซลล์(Critical micelle concentration - CMC)" ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมากกว่าความเข้มข้นที่ซีเอ็มซี (V, เหนือ IV) พื้นผิวที่ชอบน้ำ(Hydrophilic)จะมีมากกว่าหนึ่งชั้นของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่จะสามารถเรียงตัวเป็นโครงสร้างบนพื้นผิวของของแข็ง ยิ่งกว่านี้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในสารละลายจะเรียงตัวเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า ไมเซลล์ (Porter, 1994)



รูปที่ 2.3 การดูดซับและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว (Porter, 1994)

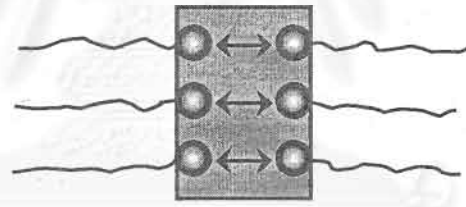
อิทธิพลที่มีผลทำให้สารลดแรงตึงผิวรวมตัวกันเป็นกลุ่มซึ่งเรียกว่า ไมเซลล์(Micelle) มาจากแรงที่ 1 เกิดขึ้นที่ส่วนหัว(Hydrophilic group) ของสารลดแรงตึงผิว เกิดแรงผลักรวมตัวกัน(Repulsion) เนื่องจากส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุเดียวกัน ถ้าส่วนหัวมีความเป็นขั้วมากจะทำให้การเกิดไมเซลล์ยากด้วย ดังนั้นสารประเภทนอนไอออนิกซึ่งไม่มีประจุจึงเกิดไมเซลล์ที่ความเข้มข้นต่ำๆ แรงที่ 2 สาเหตุที่ส่วนหาง(Hydrophobic group) จะดึงส่วนหางเข้าหากันนั้นซับซ้อนมาก เกิดจากเอนโทรปีและเอนทาลปีที่เปลี่ยนไป เมื่อสารลดแรงตึงผิวละลายในน้ำ ส่วนหางซึ่งไม่ชอบน้ำจึงพยายามที่จะมารวมกัน แรงระหว่างโมเลกุลในสารละลายแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงแรงระหว่างโมเลกุลในสารละลาย (Clint, 1992)

เมื่อความเข้มข้นต่ำๆ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะอยู่ห่างกัน แรงทั้ง 2 จะมีน้อย ความเข้มข้นที่มากขึ้นจะทำให้โมเลกุลเกิดแรงทั้ง 2 มากขึ้น ถ้ากรณีที่แรงที่ 1 > 2 มากๆ โมเลกุลจะไม่รวมตัวไม่ว่าความเข้มข้นจะมากขึ้นเพียงใด เกิดการกระจายตัวเป็นสารแขวนลอยในน้ำ ส่วนทางสั้น โมเลกุลละลายน้ำได้มาก ถ้ากรณีกลับกัน คือ แรงที่ 2 > 1 มากๆ โมเลกุลรวมตัวกันง่าย แต่ไม่ละลายน้ำ มีค่าซีเอ็มซีต่ำจนไม่อาจวัดค่าได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ของแรงทั้ง 2 นี้และโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวจึงทำให้ค่าซีเอ็มซีไม่เท่ากัน

ความคงตัวของฟอง(Foam Stability) คือ การที่ฟองจะไม่แตกง่าย ทั้งนี้เกิดจากความมีหัวของน้ำจะดึงส่วนหัวของโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวซึ่งชอบน้ำเข้ามาละลายในน้ำ ในขณะที่ส่วนหัวที่มีประจุเหมือนกันจะมีแรงผลักรัน จึงเป็นเหตุให้ฟองอากาศมีความคงตัว ดังนั้นถ้าส่วนหัวไม่มีประจุไม่มีแรงผลักรันก็จะทำให้ฟองมีความคงตัวต่ำ ทั้งนี้ความคงตัวจึงขึ้นกับโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวด้วย



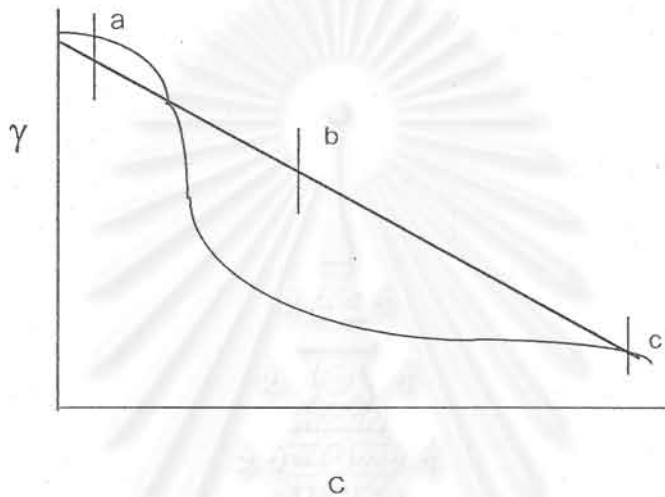
รูปที่ 2.5 ความคงตัวของฟอง (Davies และRideal, 1963)

การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวจากสารละลายจำนวนมากที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างก๊าซ และของเหลวสามารถอธิบายในเชิงปริมาณโดยสมการของ Gibbs (Gibbs, 1928)

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

τ คือ พื้นที่ผิวที่มากเกินพอของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ ค่า C คือ ความเข้มข้นที่จุดสมดุล (โมล / ลิตร) γ (คือ ค่าแรงตึงผิว (มิลลินิวตัน/ ม) R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ และ T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ τ/C ใช้ในการพิจารณาแฟคเตอร์การกระจายตัว ส่วนค่าของ $d\gamma/dC$ สามารถหาได้จากความชันของกราฟ $\gamma-C$ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิว(γ) และความเข้มข้นของสารละลายของสารลดแรงตึงผิว(C) แสดงดังรูปที่ 2.6 ในเขตของความเข้มข้นต่ำมากๆ เช่น ต่ำกว่าจุด a การดูดซับจะเกิดขึ้นเล็กน้อย เพราะโมเลกุล

ของสารลดแรงตึงผิวต่อพื้นผิวมีจำนวนน้อย และค่าแรงตึงผิวเข้าใกล้ของตัวทำละลายพื้นที่ผิวที่มากเกินพอจะเข้าใกล้ศูนย์ การแยกจะเกิดขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น ที่ความเข้มข้นช่วงกลาง (ระหว่าง a และ b) ลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายของสารลดแรงตึงผิวต่อพื้นที่ผิวในขอบเขต 10^{-7} ถึง 10^{-3} นิวตัน/ม ขึ้นกับสภาวะต่างๆ ในช่วงที่ความเข้มข้นของการเกิดไมเซลล์ จุด b ความชันจะเข้าใกล้ศูนย์ ที่ขอบเขตนี้จะเกิดไมเซลล์ และที่จุดนี้ที่เกิดไมเซลล์ การแยกจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม การแยกจะดีขึ้นถ้าเกิดขึ้นต่ำกว่า CMC (Yoshiyuki และ Eng, 1979)



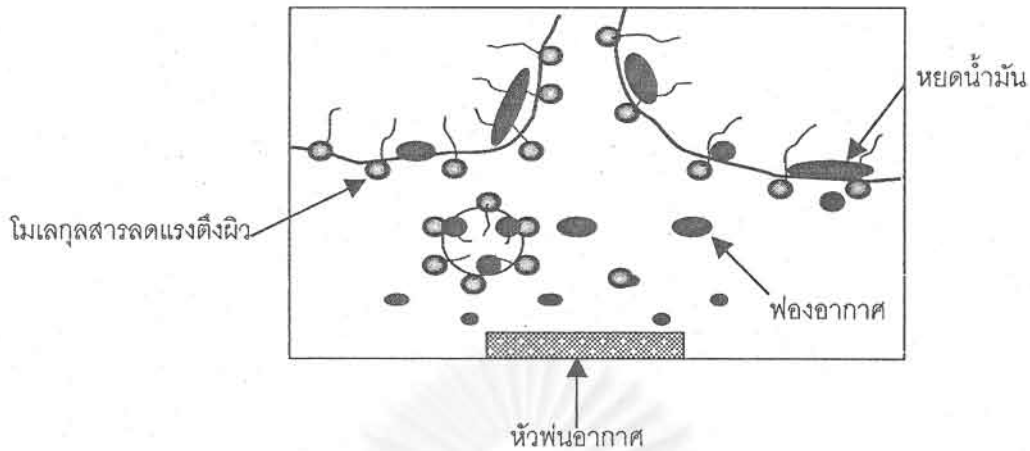
รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว (Gibbs, 1928)

2.3 หลักการทำให้เป็นฟองลอย

หลักการทำให้เป็นฟองลอย(Froth flotation) คือ กระบวนการที่ใช้แยกอนุภาคของแข็งหรือของเหลวจากชั้นของเหลว การแยกจะเกิดจากการเป่าฟองก๊าซ (ปกติใช้อากาศ)ไปในชั้นของเหลว ฟองก๊าซจะไปจับกับอนุภาค และแรงยก(buoyant force) ของฟองก๊าซที่จับกับอนุภาคจะมากเพียงพอทำให้อนุภาคลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ การลอยขึ้นของอนุภาคที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลว เช่น น้ำมัน จะเกิดขึ้นได้ใกล้เคียงกับอนุภาคที่มีความหนาแน่นสูงกว่าของเหลว

หลักการในการทำให้ลอยถูกนำมาใช้ในการแยกแร่ ต่อมาได้มีการนำมาประยุกต์ในการบำบัดน้ำเสีย เพื่อใช้แยกสารแขวนลอยและน้ำมัน หลักการทำให้ลอยนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าการตกตะกอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่สารแขวนลอยมีขนาดเล็ก

ในการทำให้ลอยโดยพ่นอากาศลงไปใ้ในสารละลาย จะสามารถกำจัดอนุภาคได้ โดยอนุภาคจะเกาะติดกับฟองอากาศ โดยฟองอากาศจะลอยขึ้นมาบนผิวน้ำ การเติมสารลดแรงตึงผิวจะช่วยทำให้ค่าแรงตึงผิวของสารละลายลดต่ำลง ทำให้เกิดฟองอากาศได้ง่ายขึ้นและโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวจะไปเกาะรวมตัวระหว่างผิวน้ำและอากาศเป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำจะชี้ออกสู่อากาศ ในขณะที่ส่วนหัวจะอยู่ในชั้นน้ำในกรณีที่มีอนุภาคสารน้ำมันอยู่ในสารละลาย อนุภาคน้ำมันนี้จะเกาะกับบริเวณที่โมเลกุลสารลด



รูปที่ 2.7 กระบวนการทำให้เป็นฟองลอย (Dean และ Lemlich, 1965)

แรงตึงผิว ซึ่งทำให้อนุภาคน้ำมันลอยขึ้นมาพร้อมกับฟอง ส่วนในกรณีที่เป็นอนุภาคของแข็งที่มีประจุตรงกันข้ามกับสารลดแรงตึงผิว อนุภาคของแข็งเหล่านี้ก็จะมาเกาะกับส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว ในที่สุดอนุภาคของแข็งจะลอยขึ้นมาพร้อมกับฟอง

ประสิทธิภาพของกระบวนการทำให้เป็นฟองลอยอาจเพิ่มสูงได้โดยเติมสารเคมีช่วย เช่น อลูมินัม เกลือเฟอริก และ แอคติเวเตดซิลิกา โดยสารเหล่านี้ที่เติมลงไปสามารถทำให้เกิดการเชื่อมโยงอนุภาคเข้าด้วยกัน และในการทำเช่นนี้จะทำให้โครงสร้างง่ายต่อการถูกจับด้วยฟองอากาศ สารพอลิเล็กโทรไลต์ ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะทำหน้าที่จับอนุภาคเข้าด้วยกันทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งทำให้สามารถถูกจับด้วยฟองอากาศง่ายขึ้น และลอยตัวได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Angelidou และคณะ(1977) ได้ทำการศึกษาการแยกหยดน้ำมัน(Emulsion form) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ไมครอน โดยกระบวนการโฟลเทชัน ทำการทดลองแบบกะ ความเข้มข้นของน้ำมันที่ทำการทดลองน้อยกว่า 100 มก/ล สารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นแบบแคทไอออนิก พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันขึ้นกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว และวิธีการเติมสารลดแรงตึงผิว โดยการเติมแบบต่อเนื่องให้ผลการแยกน้ำมันได้สูงกว่าการเติมแบบครั้งคราว

Sylvester และคณะ(1980) ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของน้ำมันในน้ำเสีย อัตราการไหลของอากาศ ขนาดของฟองอากาศ ขนาดของหยดน้ำมัน ความเข้มข้นของสารพอลิเล็กโทรไลต์ และอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพในการแยกน้ำมัน โดยขนาดของหยดน้ำมันและฟองอากาศมีความสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพการแยกน้ำมัน ส่วนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำเสียไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกน้ำมัน

Mular และ Bhappu(1980) ได้ศึกษาการพัฒนากระบวนการโฟลเทชันมาใช้ในกระบวนการแยกแ้ว เช่น การแยกแ้วสังกะสี ทองแดง โปแตส เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้แยกถ่านหินในน้ำเสีย และทำให้แ้วต่างๆมีความเข้มข้นสูงขึ้น

Van Ham และคณะ(1983) ได้ศึกษาผลกระทบของการกระจายตัวของอากาศในกระบวนการทำให้ลอยในการแยกน้ำมันในน้ำ(อิมัลชัน) ผลการทดลองเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับที่ 1 คือ อัตราการแยกขึ้นกับอัตราเร็วของอากาศ

Ityokumbul และคณะ(1988) ได้ศึกษาจากผลศาสตร์อัตราการทำให้อลอยของการนำบิพูเมนกลับมาใช้ใหม่จากหางน้ำมันทราย(Oil sand tailings) ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าอัตราการแยกขึ้นกับชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไป

Kubota และคณะ(1990) ได้ศึกษาการกำจัดอนุภาคออกจากตัวกลางที่เป็นน้ำ โดยใช้การทำให้เป็นฟองลอย และสารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออนิก โดยนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับสมการแบบจำลองการชนกันทางไฮโดรไดนามิกอย่างง่าย ๆ พบว่าผลการทดลองสอดคล้องกับการทำนายจากสมการแบบจำลอง จากการวัดกระแสไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ไปยังฟองอากาศและอนุภาค โดยใช้วิธีอิเล็กโตรฟอรีซิส(Electrophoresis method) และตัวขวางพลังงาน(Energy barrier) ระหว่างอนุภาคและผิวของฟองก๊าซ พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างมาก

Pal และ Masliyah(1990) ได้ทำการทดลองแยกน้ำมันออกจากสารละลายอิมัลชันน้ำมันในน้ำ โดยใช้โฟลเทชันแบบคอลลิมน์ ความเข้มข้นของน้ำมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.25-8.0 โดยปริมาตร การแยกน้ำมันจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันที่ป้อนเข้าเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการแยก การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของก๊าซจะก่อให้เกิดการแยกน้ำมันเพิ่มขึ้น

Watanabe, Yamanouchi และ Nagata(1991) ได้ทำการศึกษาทดลองบำบัดน้ำเสียจากเรือสินค้าซึ่งประกอบด้วยน้ำมันปนเปื้อนในปริมาณค่อนข้างสูง วิธีการหนึ่งที่ได้ทำการทดลอง คือ ระบบฟรอกโฟลเทชันโดยใช้ Nonionic surfactant พบว่าระบบสามารถแยกอนุภาคน้ำมันและของแข็งขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน ได้สูงถึง 90%

Matis และ Mavros(1991) ได้กล่าวถึงประสิทธิภาพของระบบฟรอกโฟลเทชันว่าขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ขนาดของอนุภาคที่ต้องการแยก ขนาดของฟองอากาศ และชนิดของสารลดแรงตึงผิว นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงระบบฟรอกโฟลเทชันแบบคอลลิมน์ว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบฟรอกโฟลเทชันแบบที่ใช้เป็นถังกวนมีใบพัดกวาดฟองออก ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคที่ต้องการแยกสามารถอยู่ในคอลลิมน์ได้ยาวนาน และถูกฟองอากาศยกขึ้นในที่สุด

คณะวิจัยของ BHP และ CSIRO(1992)ประเทศออสเตรเลียได้ทำการวิจัยพัฒนาระบบฟรอกโฟลเทชันเพื่อนำมาประยุกต์ในการบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ โดยมีการทดลองระดับน้ำร่องในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแผ่นเหล็กและท่อเหล็ก ซึ่งมีปริมาณน้ำมันสูง พบว่าระบบฟรอกโฟลเทชันสามารถกำจัดน้ำมันได้สูงถึง 98% นอกจากนี้ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

Garcia และ Martinez-Tarazona(1993) ได้ศึกษาการนำระบบฟรอกโฟลเทชันมาใช้ในการกำจัดโลหะชนิดต่างๆออกจากถ่านหิน เช่น As, Cu, Pb, Hg, Cr เป็นต้น ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดโลหะในถ่านหินนั้น ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่าง โดยค่าความเป็นกรดต่ำที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3-7

Wungrattanasopon และคณะ(1995) ทำการศึกษาเพื่อหาชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและปริมาณเกลือแกงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารเทอร์เชียรีบิวทิลฟีนอล โดยใช้ระบบโฟมโฟลเทชัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีค่าประมาณความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ แต่ถ้าเติมสารลดแรงตึงผิวสูงกว่า สารลดแรงตึงผิวจะรวมตัวเป็นไมเซลล์ซึ่งจะแข่งขันกับฟองใน

การจับน้ำมัน เมื่อมีการเติมเกลือแกงส่งผลให้ประสิทธิภาพกำจัดของสารลดแรงตึงผิวลดลง ในขณะที่จะมีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันยังสูง แต่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ต้องเติมลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากค่าCMCของสารลดแรงตึงผิวลดต่ำลง เมื่อมีการเติมเกลือแกงเพิ่มสูงขึ้น

Bolto และคณะ(1996) ได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันในรูปอิมัลชัน โดยระบบฟรอกโฟลเทชัน โดยใช้ Cationic polyelectrolyte พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันสูงกว่า 95% และถ้าใช้ Polyelectrolyte ที่ปรับคุณสมบัติเป็น Hydrophobic พบว่าจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองกับน้ำเสียประเภทอื่น ซึ่งพบว่า Cationic polyelectrolyte นี้เหมาะสมในการช่วยแยกน้ำมันออกจากน้ำเสีย และค่าความเป็นกรดต่างที่สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการแยกน้ำมันสูงกว่าในกรณีค่าความเป็นกรดต่างต่ำ นอกจากนี้ยังได้พบว่าการใช้สาร Cationic polyelectrolyte ร่วมกับ SDS จะทำให้ประสิทธิภาพการแยกสารแขวนลอย น้ำมัน และสีเพิ่มสูงขึ้นด้วย

Pongstabadee(1996) ทำการศึกษาการกำจัดออร์โธไดคลอโรเบนซีน ออกจากน้ำโดยทำการศึกษากการเกิดไมโครอิมัลชันของสารลดแรงตึงผิว ในการเกิดสภาวะวินเซอร์แบบที่หนึ่งไปสู่สภาวะวินเซอร์แบบที่สาม พบว่า การใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุเป็นบวกมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวที่ประจุจะเป็นลบ และพบว่าที่สภาวะวินเซอร์แบบที่สาม ระบบทำให้การทำให้เป็นฟองลอยมีประสิทธิภาพการแยกสารสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะดังกล่าวมีค่าแรงตึงผิวต่ำสุดนั่นเอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

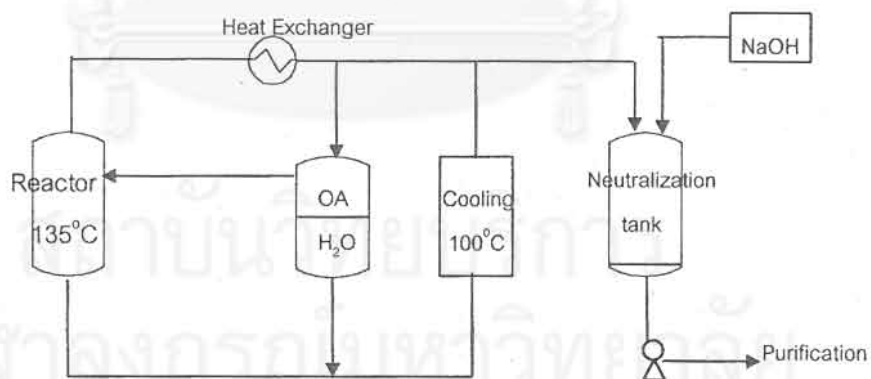
3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 น้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ถูกเตรียมที่ความเข้มข้นของสารไดทูเอทิลเฮกซิลพทาเลต [Di-(2-ethylhexyl)phthalate - DEHP, DOP] เท่ากับ 500 มก/ล โดยนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นนาน 5 นาที จะได้เป็นสารละลายอิมัลชันสีขาวคล้ายน้ำมัน เตรียมไว้ครั้งละประมาณ 90 ลิตร

3.1.2 น้ำเสียดีไอพี

น้ำเสียนี้ได้จากกระบวนการผลิตสารพลาสติกไซเซอร ดีไอพี ของบริษัทไอเอ พลาสติกไซเซอร อินดัสตรีส์ จำกัด กระบวนการผลิตสารดีไอพีแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ในกระบวนการผลิตนี้ใช้สารตั้งต้น คือ พทาเลต แอนไฮดราย ทำปฏิกิริยากับสองเอทิลเฮกซิลแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดกำมะถันเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการลดอุณหภูมิ ทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และทำให้บริสุทธิ์ น้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิต จะรวมทั้งน้ำล้างระบบด้วย น้ำเสียจะถูกนำไปผ่านถังดักน้ำมันก่อนนำมาเก็บไว้ในถังเก็บ เพื่อเตรียมสูบเข้าระบบบำบัดทางชีวภาพ การเก็บตัวอย่างได้เก็บที่ถังเก็บน้ำเสียที่ผ่านการดักครบน้ำมันแล้ว ซึ่งนำมาใช้ในการทดลองนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตสารดีไอพี

3.1.3 น้ำเสียสถานีบริการน้ำมัน

น้ำเสียนี้ได้มาจากสถานีบริการน้ำมันการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย สาขาสนามเป้า โดยมีกิจกรรมการใช้น้ำแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ น้ำใช้ล้างรถ และน้ำใช้ในห้องน้ำ โดยมีปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย 25 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยส่วนน้ำเสียจากห้องน้ำจะไหลล้นออกทางด้านขวาของสถานีบริการ ส่วนน้ำล้างรถจะไหลออกทางด้านซ้ายของสถานีบริการ จากการสำรวจพบว่าจะมีการใช้น้ำมากในช่วงเช้าถึงเย็นของวันจันทร์-ศุกร์

ส่วนช่วงเวลากลางคืนจะมีการใช้น้ำน้อยมาก การบริการล้างรถจะมีน้อยมากในวันเสาร์ ส่วนวันอาทิตย์จะมีเฉพาะการบริการเติมน้ำมันเท่านั้น

ในส่วนของน้ำเสียอาจประมาณจากปริมาณน้ำใช้ได้ คือ ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย 25 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน น้ำเสียส่วนใหญ่จะมีในช่วงเช้า-เย็น(8.00-16.00 น.) เพื่อให้ทราบลักษณะสมบัติน้ำเสียของสถานบริการ จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียทั้งส่วนที่มาจากห้องน้ำ และจากกิจกรรมล้างรถ การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจะเก็บแบบ Composite กล่าวคือ ทำการเก็บทุกๆชั่วโมง ตั้งแต่ 9.00-12.00 น. โดยตัวอย่างน้ำเสียถูกเก็บรักษาในน้ำแข็ง จากนั้นนำตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมดมารวมกันเป็นตัวอย่างเดียวในวันนั้นๆก่อนการวิเคราะห์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ในการทดลองนี้ได้เก็บน้ำเสียการล้างรถที่ป้อนน้ำเสียรวม แล้วนำมาเก็บรักษาในตู้เย็นที่ 4°C ก่อนนำมาใช้จะทำการเขย่าอย่างรุนแรงทุกครั้ง

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากห้องน้ำและการล้างรถ โดยเก็บตัวอย่างแบบ Composite ทุกๆ 1 ชั่วโมง

ประเภทน้ำเสีย วัน/เดือน/ปี	pH	COD (มก/ล)	BOD (มก/ล)	O&G (มก/ล)	SS (มก/ล)	TDS (มก/ล)	PO ₄ ³⁻ -P (มก/ล)
น้ำเสียห้องน้ำ							
จ. 3/11/97	5.57	330	152	-	80	816	5.75
พ.5/11/97	4.21	686	303	31	100	994	5.92
ศ.7/11/97	6.94	370	170	24	84	620	7.85
ส.8/11/97	5.97	605	293	56	52	692	6.94
ค่าเฉลี่ย	5.67	498	229	37	79	780	6.6
น้ำเสียการล้างรถ							
จ. 3/11/97	6.91	170	78.8	1,780	83	380	2.75
พ.5/11/97	6.74	70	31	283	793	433	2.09
ศ.7/11/97	7.33	135	62	18,200	986	608	1.11
ส.8/11/97	7.22	116	45	2,510	205	705	5.1
ค่าเฉลี่ย	7.05	123	54	5,690	517	531	2.8

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS), เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) และโนนิลฟีนอลเอทอกซีเลท (NP(EO)₁₀)

โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecylsulfate – SDS) ของบริษัทเฮนเกิล (Henkel company) มีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 90% เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทแอนไอออนิก โดยส่วนหัวมีประจุลบของกลุ่มซัลเฟต และส่วนหางมีคาร์บอน 12 ตัว

เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyltrimethyl ammonium bromide) ของบริษัทโรปูลแลงค์ (Rhone Poulenc) เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทแคทไอออนิก มีส่วนหัวเป็นประจุบวก เป็นสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม

โนนิลฟีนอลเอทอกซีเลท (Nonylphenol ethoxylate-NP(EO)₁₀) ของบริษัทไอ ซี ไอ ประเทศออสเตรเลีย มีชื่อทางการค้า คือ TERIC N10 เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทนอนไอออนิก ที่หนึ่งโมลของโนนิลฟีนอลมีเอทิลีนออกไซด์สิบโมล คุณสมบัติทางเคมีของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว	มวลโมเลกุล	สูตรโครงสร้างทางเคมี
SDS	288.3	$C_{12}H_{25}SO_4Na$
CTAB	364.5	$CH_3(CH_2)_{15}N(CH_3)_3Br$
TERIC N10	660	$(C_2H_4O)_{10}C_{15}H_{24}O$

3.2.2 สารพอลิเอทิลีนไกลคอล

สารพอลิเอทิลีนไกลคอลได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท Betz ซึ่งมีชื่อทางการค้าคือ Betz Novus Polymer 2680 เป็นสารพอลิเอทิลีนไกลคอลประเภทแคทไอออนิก มีลักษณะเป็นอิมัลชัน ซึ่งมีมวลโมเลกุลสูง และความตึงผิวเฉพาะเท่ากับ 1.034

3.2.3 น้ำมัน

ไดเอทิลเฮกซิล พทาเลต [Di-(2-ethylhexyl)phthalate - DEHP, DOP] ของบริษัท ทีโอเอ พลาสติไซเซอร์ จำกัด มีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 99.9 ถูกนำไปใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยคุณสมบัติโดยทั่วไปของสารดีไอพีได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของสารดีไอพี

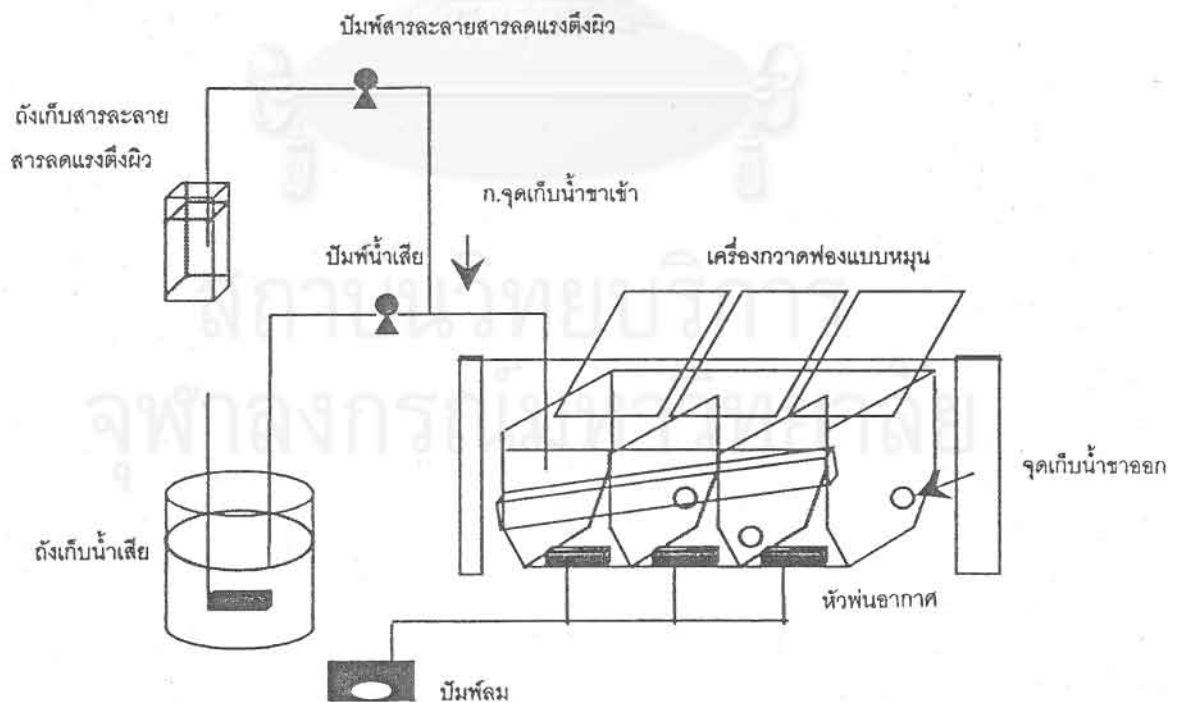
คุณสมบัติ	Di-(2-ethylhexyl)phthalate - DEHP, DOP
- สูตรโมเลกุล	$C_{24}H_{38}O_4$
- มวลโมเลกุล	390.57
- จุดเดือด องศาเซลเซียส	231.00
- ความหนาแน่น กรัม/มิลลิลิตร	0.9861
- ค่าการละลายที่ 20 องศาเซลเซียส	0.01 g/100 g ของน้ำ

3.2.3 น้ำกลั่น

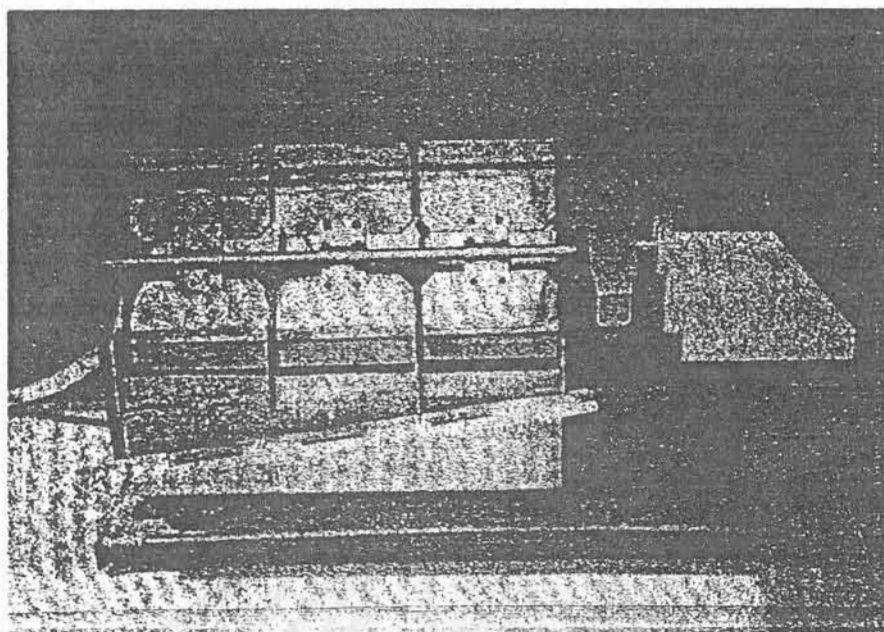
น้ำที่ใช้ตลอดการทดลองนี้ นำมาจากการกลั่น 3 ครั้ง และทำการลดแร่ธาตุ จากฝ่ายเคมีและวิเคราะห์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

3.3 อุปกรณ์ต้นแบบระบบบำบัดแบบทำให้เป็นฟองลอย

แผนภาพของกระบวนการทำให้เป็นฟองลอยที่ใช้ในการศึกษา ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.2 โดยระบบบำบัดแบบทำให้เป็นฟองลอยประกอบด้วยถังสแตนเลส ขนาดยาว 45 ซม กว้าง 10 ซม ความสูง 20 ซม โดยด้านในแบ่งออกเป็น 3 ช่องเท่าๆกัน รูปที่ 3.3 แสดงภาพถ่ายเครื่องมือการทดลองนี้ โดยในแต่ละการทดลองจะนำน้ำเสียประมาณ 90 ลิตร เติลงในถังเก็บน้ำเสียที่ถูกกวนตลอดเวลา เพื่อป้องกันการแยกน้ำและน้ำมัน น้ำเสียจะถูกสูบเข้าถัง การทำให้เป็นฟองลอยโดยปั๊มพีชนิดรีด(Peristaltic Pump) ยี่ห้อ Masterflex รุ่น 7518-62 สารละลายสารลดแรงตึงผิวที่เตรียมไว้จะถูกสูบผสมเข้าถังของกระบวนการทำให้เป็นฟองลอยโดยปั๊มพีชนิดรีด ยี่ห้อ Eyla รุ่น MP-3 ดังทำให้เป็นฟองลอยจะถูกเติมอากาศตลอดเวลาด้วยปั๊มฟลัมยี่ห้อ HAILIPAI รุ่น ACO-9510 ผ่านหัวฟันทอง โดยอัตราการเป่าอากาศควบคุมคงที่ประมาณ 400 ลิตรต่อชั่วโมง ตลอดการทดลอง ทำการปรับระดับน้ำในถังโดยการปรับระดับท่อ 3 ทาง เพื่อให้ได้ระดับความสูงของน้ำในถังเท่ากับ 19 ซม ซึ่งจะทำให้ปริมาตรจุของถังเท่ากับ 16 ลิตร ฟองที่จับกับน้ำมันแล้วนั้นจะถูกกวาดออกด้านบนด้วยเครื่องกวาดฟองแบบหมุน ซึ่งควบคุมความเร็วรอบประมาณ 2.4 รอบต่อนาที ส่วนน้ำเสียที่ได้รับการบำบัดแล้ว จะไหลออกทางช่องที่ 3 ของถังที่ระดับใต้ฟอง ทำการเก็บน้ำครั้งละ 25 มิลลิลิตร จุดเก็บตัวอย่างมี 2 จุด คือ ก่อนเข้าระบบ และออกจากระบบ(ดูรูปที่ 3.3) ช่วงเวลาเก็บตัวอย่างขึ้นกับเวลาเก็บกักที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงระบบทำให้เป็นฟองลอย



รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายระบบการทำให้เป็นฟองลอยที่ใช้ในการทดลองนี้

โดยในการเก็บตัวอย่างน้ำออก ทำการเก็บภายหลังจากเดินระบบทดลอง 30 นาที ซึ่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว(steady state) โดยเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ได้สรุปจากการทดลองเก็บตัวอย่างน้ำออกที่เวลาต่างๆ พบว่า ตั้งแต่เวลา 20 นาทีเป็นต้นไป ค่าความเข้มข้นน้ำมันมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงกำหนดเวลา 30 นาทีในการเก็บตัวอย่าง

3.4 แผนการทดลอง

การทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวในการเกิดไมเซลล์ และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารน้ำมันผสมอยู่ โดยระบบการทำให้เป็นฟองลอย

3.4.1 การหาค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว

การหาค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว(Critical micelle concentration, CMC) ทำโดยเตรียมสารละลายของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นต่างกัน ประมาณ 10 ค่า โดยการนำสารลดแรงตึงผิวไปละลายในน้ำกลั่น นำสารละลายที่เตรียมไว้ไปวัดค่าแรงตึงผิว (Surface tension) โดยใช้เครื่องวัดค่าแรงตึงผิว(Tensiometer) โดยวิธี De-Nouy method เครื่องมือที่ใช้เป็น Digital Tensiometer รุ่นK10 ST ของบริษัท Kross โดยค่าที่วัดได้ ต้องนำมาแก้ไขด้วยค่าการตรวจแก้ (Correction factor)ของเครื่องมือ นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวที่ตรวจแก้แล้ว กับค่าLogของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ลากเส้นสัมผัสกราฟ เพื่อหาค่าซีเอ็มซี ซึ่งก็คือ จุด

ตัดของเส้นลัมผัสทั้งสอง ภาคผนวก ก แสดงหลักการวัดค่าแรงดึงผิวและข้อมูลการทดลองเพื่อหาค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

3.4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทำให้เป็นฟองลอย

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงที่สุดนั้น มี 2 การทดลองย่อย คือ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจริง โดยในการทดลองนี้จะมีการแปรค่าปัจจัย (Variable parameters) ดังนี้

- เวลาเก็บกัก (Hydraulic retention time – HRT) ที่ 0.5, 1.0 และ 2.0 ชั่วโมง โดยปรับอัตราการไหลน้ำเสียต่างๆ
- ชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงดึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ CTAB, SDS และ TERIC N10 ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5 เท่าของค่าซีเอ็มซีของแต่ละสารลดแรงดึงผิว
- ความเข้มข้นของสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Betz Novus Polymer 2680) ที่ความเข้มข้น 25, 50, 75, 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร (ใช้ในการทดลองกับน้ำเสียสถานีบริการน้ำมันเท่านั้น)

ในการทดลองนี้มีการควบคุมปัจจัยให้คงที่ (Fixed parameters) ดังนี้

- อัตราการเป่าอากาศปรับให้คงที่ ที่ 400 ลิตรต่อชั่วโมง
- อุณหภูมิในระบบคงที่ที่อุณหภูมิห้อง

3.4.2.1 การทดลองน้ำเสียสังเคราะห์

ก. การหาเวลาเก็บกักของน้ำเสีย

การหาเวลาเก็บกักหรืออัตราการไหลของน้ำเสียที่เหมาะสม โดยการปรับอัตราการไหลของน้ำเสีย ที่เวลาเก็บกักเท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง ทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ เก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาเก็บกักที่ใช้ นำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารดีไอพีด้วยเครื่อง HPLC นำข้อมูลที่ได้ไปหาประสิทธิภาพของการบำบัด

ข. การหาชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงดึงผิว

การหาชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงดึงผิวที่เหมาะสมโดยการปรับอัตราการไหลของน้ำเสียคงที่ ที่ 40 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเท่ากับค่าเวลาเก็บกักที่ 0.5 ชั่วโมง ทำการทดลองที่แต่ละสารละลาย SDS, CTAB และ TERIC N10 ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5 เท่าของค่าซีเอ็มซีของสารลดแรงดึงผิวแต่ละชนิด เก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ 0.5 ชั่วโมง นำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารดีไอพี นำข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดสารน้ำมันที่ใช้สารลดแรงดึงผิวต่างๆมาเปรียบเทียบเพื่อคัดเลือกชนิดและความเข้มข้นที่เหมาะสม

3.4.2.2 การทดลองน้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตสารพลาสติกไซเซออร์ ดีไอพี

วิธีการทดลองน้ำเสียจริงจะเหมือนวิธีการทดลองที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ และทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าซีไอพีด้วย

3.4.2.3 การทดลองน้ำเสียสถานีบริการน้ำมัน



สารเคมีที่ใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสียสถานบริการน้ำมัน เป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิดมีประจุบวกและน้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular cationic polyelectrolyte) ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า Betz Novus Polymer 2680 เนื่องจากเป็นสารเคมีที่ได้พบว่า มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงในการใช้ทดลองบำบัดน้ำเสียสถานบริการจากแหล่งเดียวกัน โดยระบบการทำให้เป็นฟองลอยแบบคอลัมน์ (สุเมธ, 2541)

การหาความเข้มข้นของสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ Betz Novus Polymer 2680 ที่เหมาะสม ทำโดยการปรับอัตราการไหลของน้ำเสียคงที่ ที่ 40 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเท่ากับค่าเวลาเก็บกักที่ 0.5 ชั่วโมง ทำการทดลองที่แต่ละความเข้มข้นคือ 25, 50, 75, 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บตัวอย่างน้ำที่ 0.5 ชั่วโมง นำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน นำข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดสารน้ำมันที่ความเข้มข้นของสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ มาเปรียบเทียบเพื่อคัดเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสม

3.5 การวิเคราะห์

3.5.1 การหาปริมาณสารดีไอพี

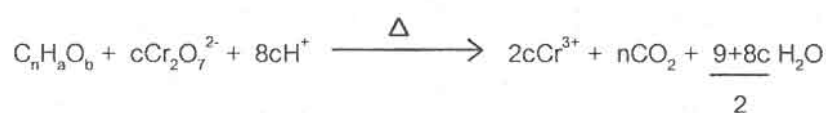
ในการวิเคราะห์ปริมาณสารดีไอพี ใช้เครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น LDC-4100 โดยใช้ยูวี (Ultraviolet Visible Detector) รุ่น 4100 เป็นดีเทคเตอร์ บัมพ์รุ่น LC-3A โดยสภาวะในการตรวจสอบมีดังนี้

Column	:	C-8
Mobile phase	:	Acetonitrile : H ₂ O = 70 : 30
Flow rate	:	1.0 มิลลิลิตรต่อนาที
Detector	:	UV detector at λ 254 nm
Sensitivity	:	0.05 AUFS (Absorption unit full scale)
Injection	:	50 ไมโครลิตร

3.5.2 การหาปริมาณซีไอดี (COD)

วิธีการหาปริมาณซีไอดีที่ใช้ คือ การรีฟลักซ์แบบเปิด (Open reflux) ใช้ในการหาปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำเสียจริง วิธีการทดลองโดยละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค โดยวิธีวิเคราะห์ซีไอดีมีหลักการดังนี้

การวิเคราะห์ค่าซีไอดี เป็นการวัดค่าความสกปรกของน้ำทิ้ง โดยเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมด ทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ และย่อยสลายไม่ได้ โดยการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างด้วยสารโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate- K₂Cr₂O₇) ในสารละลายที่เป็นกรด โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ



การออกซิไดซ์นี้ทำการต้มให้เดือด ส่วนบนมีคอนเดนเซอร์ (Condenser) เพื่อกลั่นไอต่างๆ ให้เป็นของเหลวไหลกลับไปที่ขวดต้ม ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่ารีฟลักซ์ โดยทำการต้มประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณ

$K_2Cr_2O_7$ ที่เหลืออยู่ ด้วยการไทเทรตกับสารละลาย Ferrous ammonium sulfate โดยใช้ Ferroin เป็นตัวอินดิเคเตอร์ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นคือ



3.5.3 การหาปริมาณสารน้ำมัน(Oil & Grease)

การหาปริมาณสารน้ำมันในน้ำเสียที่จะกล่าวถึงในที่นี้ เป็นการวัดปริมาณรวมของกลุ่มน้ำมันและไขมันที่มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถละลายรวมกันได้ในตัวทำละลาย เช่น ฟริออน (Trichlorotrifluoroethane), นอร์มัลเฮกเซน(n-Hexane), เมทิลเทอร์ทีอิวทิลอีเทอร์(Methyl-tert-butyl ether) เป็นต้น การวัดปริมาณสารน้ำมันที่ได้ใช้ในการทดลองนี้ได้เลือกสารนอร์มัลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย และใช้วิธีการสกัดด้วยกรวยสำหรับแยก(Separatory funnel extraction) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน

หลักการของวิธีนี้คือ ทำตัวอย่างให้เป็นกรดที่พีเอชน้อยกว่า 2 แล้วสกัดสารน้ำมันด้วยตัวทำละลายนอร์มัลเฮกเซนในกรวยสำหรับแยก จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกจนแห้ง นำส่วนที่เหลือไปอบแห้ง แล้วชั่งให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนัก วิธีการวิเคราะห์โดยละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

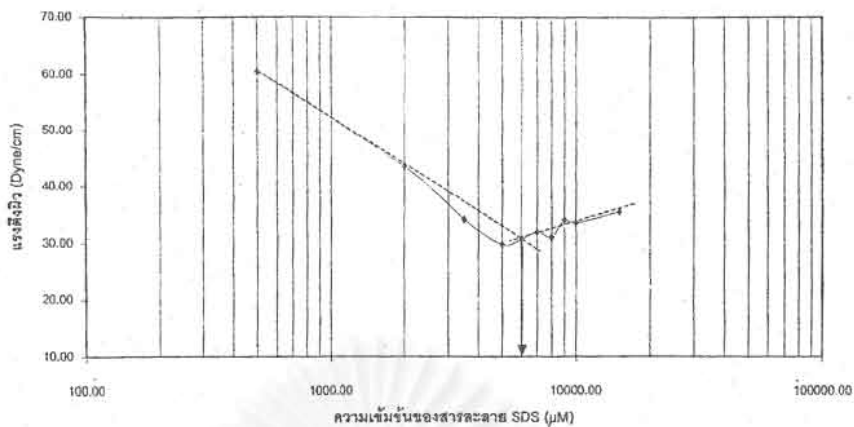
4.1 ค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์(CMC)

การวัดค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ SDS, CTAB และ TERIC N10 ได้ใช้เครื่องวัดแรงตึงผิว(Tensiometer) โดยใช้วิธี Du-Nouy ข้อมูลการทดลองหาค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวทั้งสามชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ค่าซีเอ็มซีสามารถหาได้จากจุดตัดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิว(Surface tension) และค่า Log ของความเข้มข้นของสารละลายสารลดแรงตึงผิว จากผลการทดลองจะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.3 จะพบว่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในช่วงแรก เส้นแนวโน้มของค่าแรงตึงผิวลดต่ำลงเป็นรูปพาราโบลา ความชันของกราฟมีค่าสูง จากนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้น พบว่า ความชันของเส้นมีค่าลดต่ำลงเข้าใกล้ 0 ที่ช่วงนี้จะเกิดไมเซลล์ ความเข้มข้นที่สูงกว่าจุดซีเอ็มซี ค่าแรงตึงผิวจะสูงขึ้น (Porter, 1994 ; Yoshiyuki and Eng, 1979)

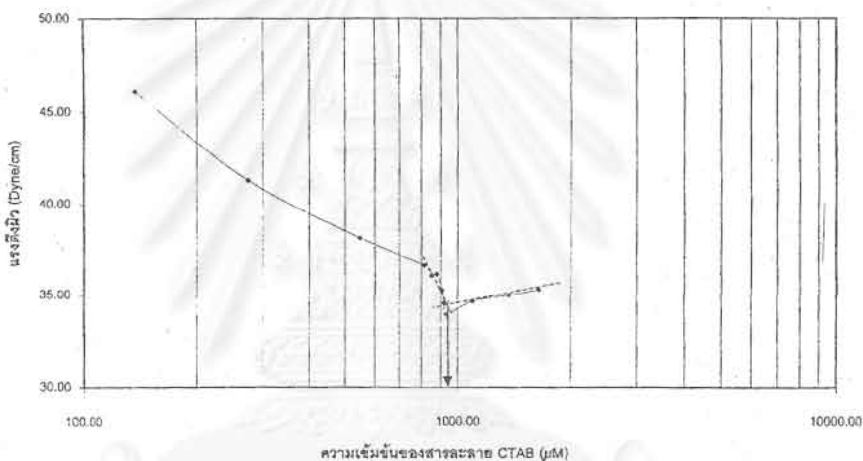
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ที่วัดได้ของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด โดยค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ของสาร SDS มีค่าสูงสุด ของสาร CTAB ลดต่ำกว่า และ TERIC N10 ต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจาก TERIC N10 เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทนอนอิออนิก ไม่มีประจุ ดังนั้นโมเลกุลจึงไม่มีแรงผลักรัน ทำให้การรวมกันเกิดเป็นไมเซลล์ได้ง่าย สำหรับสารอิออนิก ค่าซีเอ็มซีลดลงเมื่อจำนวนของคาร์บอนอะตอมในส่วนหางของสารเพิ่มขึ้น ดังนั้น CTAB ที่มีคาร์บอนส่วนหางถึง 16 ตัว จึงมีค่าซีเอ็มซีน้อยกว่า SDS ที่มีคาร์บอน 12 ตัว (Rosen, 1989)

ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ ของสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้

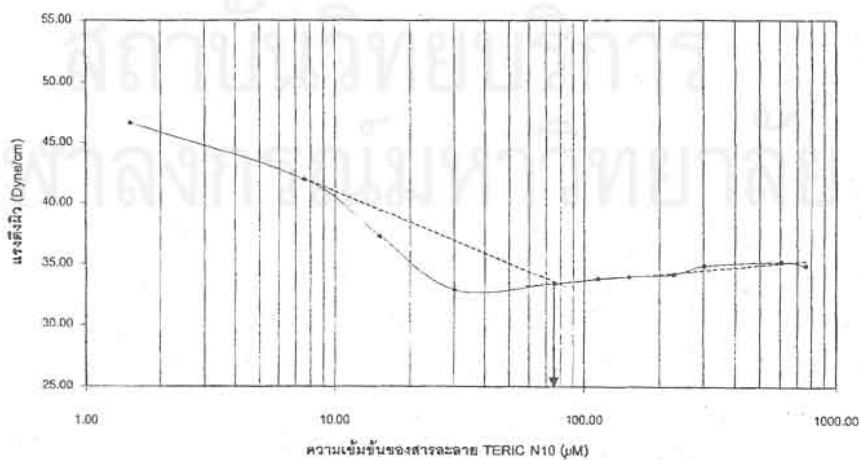
สารลดแรงตึงผิว	น้ำหนักโมเลกุล	ค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์	
		ไมโครโมลาร์	g / l
SDS	288.3	6000	1.7298
CTAB	364.5	930	0.3390
TERIC N10	660.0	76	0.0502



รูปที่ 4.1 ค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารละลาย SDS



รูปที่ 4.2 ค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารละลาย CTAB



รูปที่ 4.3 ค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารละลาย TERIC N10

4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบทำให้เป็นฟองลอย

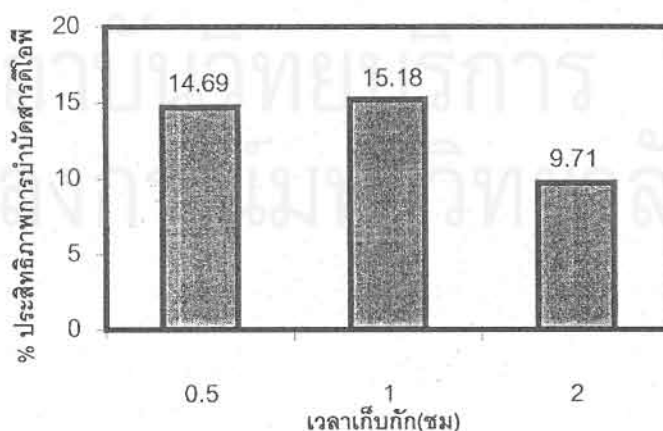
เนื่องจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสารดีไอพีที่มีความแปรผันมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สำหรับการทดลองนี้ ทั้งนี้เพื่อลดการแปรผันลักษณะสมบัติน้ำเสีย ข้อมูลการทดลองการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบทำให้เป็นฟองลอยได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ โดยผลการทดลองมีดังนี้

4.2.1 เวลาเก็บกักที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

ผลการทดลองได้สรุปในตารางที่ 4.2 และในรูปที่ 4.4 พบว่า ประสิทธิภาพของการบำบัดที่เวลาเก็บกักที่ 0.5 และ 1.0 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 85% แต่ที่เวลาเก็บกักที่ 2.0 ชั่วโมง พบว่าระบบมีประสิทธิภาพของการบำบัดต่ำที่สุด ซึ่งไม่สอดคล้องตามทฤษฎี ที่เวลาเก็บกักยาวนานขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น จนถึงระดับคงที่ค่าหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากในการทดลองนี้เมื่อเวลาเก็บกักที่สูงขึ้น อาจทำให้ฟองอากาศเกิดการรวมตัวกันจนกลายเป็นฟองที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้พื้นที่ผิวสำหรับให้สารดีไอพีมาเกาะลดต่ำลง ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า เวลาเก็บกักที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียนี้ควรเลือกที่ 0.5 ชั่วโมง เนื่องจากจะประหยัดพลังงาน และลดค่าก่อสร้างระบบบำบัดนี้

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพีที่เวลาเก็บกักต่างๆของน้ำเสียสังเคราะห์

เวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นดีไอพี น้ำเข้า (มก/ล)	ความเข้มข้นดีไอพี น้ำออก (มก/ล)	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด , %
0.5	277.2	237.2	14.69
1.0	388.3	329.4	15.18
2.0	300.6	271.4	9.71



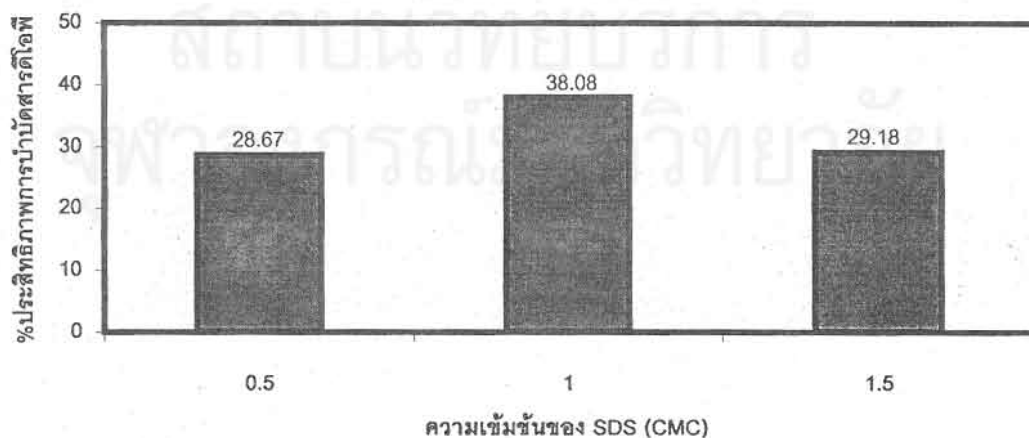
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดที่เวลาเก็บกักต่างๆของน้ำเสียสังเคราะห์

4.2.2 ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

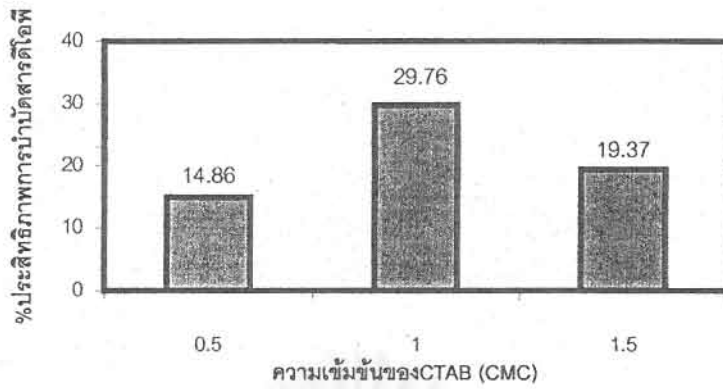
ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5-4.7 แสดงประสิทธิภาพระบบทำให้เป็นฟองลอยในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้สารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพีขึ้นกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว โดยสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพีสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงขึ้น และมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์(ซีเอ็มซี) แต่เมื่อความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวสูงกว่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์กลับมีประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพีลดต่ำลง

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพีของน้ำเสียสังเคราะห์ โดยระบบทำให้เป็นฟองลอย โดยใช้สารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารลดแรงตึงผิว ที่เวลาเก็บกักคงที่ที่ 0.5 ชั่วโมง และอัตราการไหลของอากาศคงที่ที่ 400 ลิตรต่อชั่วโมง

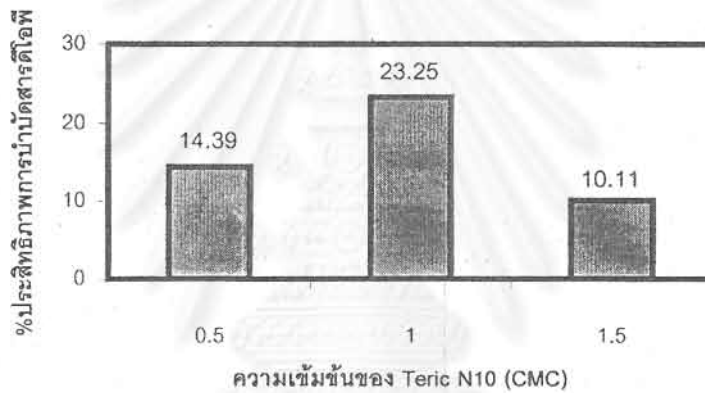
ชนิดสารลดแรงตึงผิว	ความเข้มข้น (CMC)	ความเข้มข้นสารดีไอพีน้ำเข้า (มก/ล)	ความเข้มข้นสารดีไอพีน้ำออก (มก/ล)	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด , %
SDS	0.5	537	345	28.7
	1.0	397	246	38.1
	1.5	569	403	29.2
CTAB	0.5	371	289	14.9
	1.0	371	261	29.8
	1.5	378	305	19.4
TERIC N10	0.5	360	309	14.4
	1.0	460	353	23.2
	1.5	399	359	10.1



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อใช้สาร SDS ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5CMC



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพของการบำบัดเมื่อใช้สาร CTAB ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5, 1.0 และ1.5CMC



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของการบำบัดเมื่อใช้สาร TERIC N10 ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5CMC

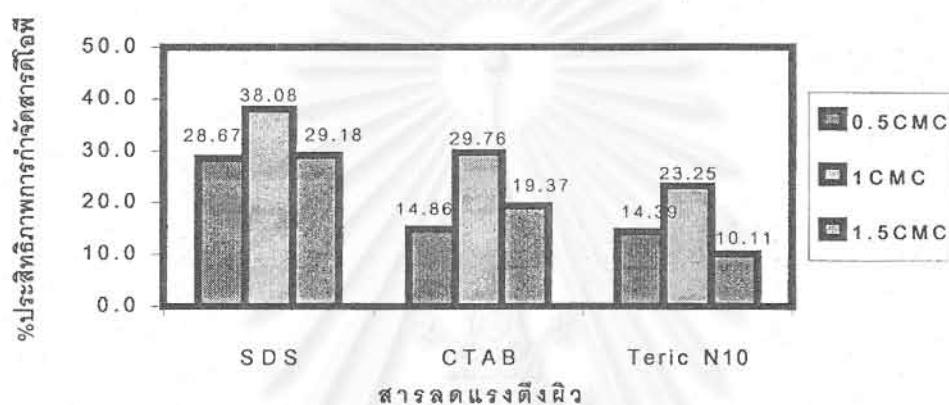
ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงกว่าค่าซีเอ็มซี ไมเซลล์ที่เกิดขึ้นจะมีการแข่งขันกับฟองอากาศในการจับสารดีไอพีเข้าไปอยู่ในไมเซลล์ ทำให้สารดีไอพีที่ถูกจับที่ฟองลดต่ำลง จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพีลดต่ำลง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Porter(1994) และ Wungrattanasopon และคณะ(1995)

4.2.3 สารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพี โดยใช้สารลดแรงตึงผิวสามประเภทที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยพบว่าสาร SDS ทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดสารดีไอพีสูงสุด รองลงมา คือ สารCTAB และTERIC N10 ตามลำดับ โดยสาร TERIC N10ให้ประสิทธิภาพต่ำสุด เนื่องจากสาร TERIC N10 คือ สารลดแรงตึงผิวประเภทนอนไอออนิกซึ่งฟองของสารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะแตกได้ง่าย เนื่องจากไม่มีแรงผลักรวมกันของโมเลกุลระหว่างชั้นของผิวทั้ง 2 ด้านของฟอง เมื่อเปรียบเทียบกับสารไอออนิกที่มีแรงผลักรวมกันของโมเลกุล จึงมีความคงตัวของฟองมากกว่า ทำให้ฟองสามารถนำพาน้ำมันขึ้นสู่ผิวได้ดีกว่า (Davies และ Rideal, 1963)

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพีที่ความเข้มข้นและชนิดของสารลดแรงตึงผิวต่างๆ

ความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิว	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพี, %		
	SDS	CTAB	TERIC N10
0.5	28.67	14.86	14.39
1.0	38.08	29.76	23.25
1.5	29.18	19.37	10.11



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของการบำบัดสารดีไอพี เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว SDS, CTAB และ TERIC N10 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดออนิก พบว่าสาร SDS ให้ประสิทธิภาพของการบำบัดสารดีไอพีสูงกว่าสาร CTAB ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทแคทอออนิก โดยวิเคราะห์จากโครงสร้างของสาร SDS ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นกลุ่มของซัลเฟต ซึ่งจะลดความสามารถในการละลายกับสารไม่มีขั้ว แต่จะเพิ่มความสามารถในการละลายของสารมีขั้ว เช่น สารดีไอพี เนื่องจากกลุ่มของซัลเฟตจะไปเพิ่มแรงผลักระหว่างหัว ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นไมเซลล์ได้ง่าย และมีช่องว่างสำหรับสารที่มีขั้วเข้าไปละลาย จึงทำให้ SDS มีประสิทธิภาพสูงกว่า CTAB (Reznikov และ Bavika, 1966)

4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจริงดีไอพีด้วยระบบทำให้เป็นฟองลอย

จากผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยระบบทำให้เป็นฟองลอย ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า สารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสม คือ SDS ความเข้มข้นที่เหมาะสมเท่ากับ 1 เท่าของค่าซีเอ็มซี และเวลาเก็บกักที่เหมาะสมเท่ากับ 0.5 ชม ดังนั้นจึงนำเอาสภาวะนี้ไปใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสียจริง โดยข้อมูลการทดลองได้แสดงในภาคผนวก ข และในตารางที่ 4.5 พบว่าภายใต้สภาวะการทดลองนี้ ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพี และซีไอดี เท่ากับ 14.90% และ 10.53% ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพี จากน้ำเสียจริงมีค่าต่ำกว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำเสียจริงมีสารเจือปนมาก อาจส่งผลกระทบต่อค่าซีเอ็มซีลด

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจริงโดยระบบทำให้เป็นฟองลอย

สารลดแรงตึงผิว	SDS
ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว	1 CMC
เวลาเก็บกัก	0.5 ชั่วโมง
อัตราการไหลของอากาศ	400 ลิ/ชม
ความเข้มข้นของสารดีไอพีในน้ำเสียขาเข้า	75.5 มก/ล
ความเข้มข้นของสารดีไอพีในน้ำเสียขาออก	64.3 มก/ล
% ประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพี	14.90 %
ค่าซีไอดีในน้ำเสียก่อนบำบัด	1459 มก/ล
ค่าซีไอดีในน้ำเสียหลังบำบัด	1306 มก/ล
% ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดี	10.5 %

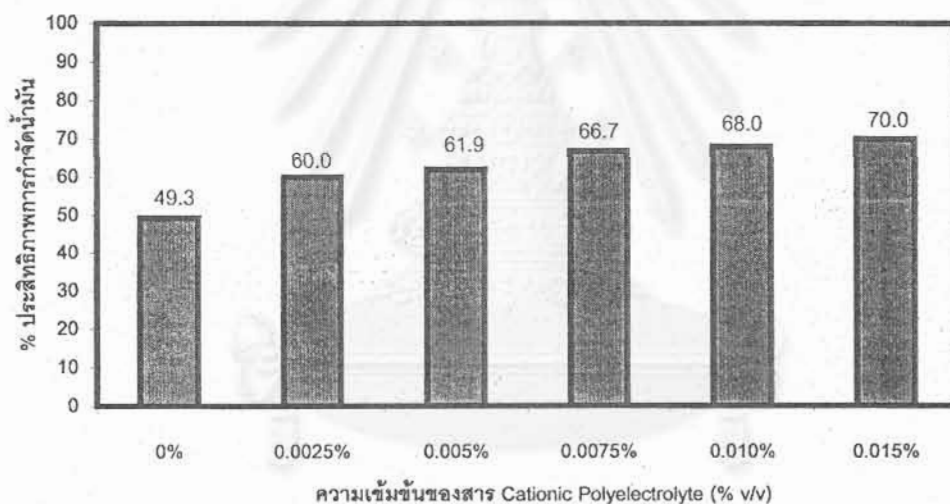
ลง สารที่มีผลต่อค่าซีไอดี เช่น สารอิเล็กโทรไลต์ จะไปลดแรงผลึกที่ส่วนหัว ทำให้เกิดไมเซลล์ได้ง่าย ส่วนสารอินทรีย์แม้ปริมาณเล็กน้อยจะมีผลต่อการเปลี่ยนไปของค่าซีไอดีในสารละลาย เช่น สารพวกแอลกอฮอล์ และเอไมด์ จะไปลดค่าซีไอดี โดยพวกไฮยาจะถูกดูดซับเข้าไปในสารลดแรงตึงผิว ทำให้ไปลดแรงผลึกที่ส่วนหัว ค่าซีไอดีจึงลดลง และถ้าสารอินทรีย์นั้นมีหมู่ที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้มากเท่าไร ก็สามารถลดค่าซีไอดีได้เช่นกัน ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจริงต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์

4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสถานีบริการน้ำมันด้วยระบบการทำให้เป็นฟองลอย

ก่อนทำการทดลองน้ำเสียสถานีบริการน้ำมัน จำเป็นต้องทำให้น้ำเสียเป็นเนื้อเดียวก่อน โดยใช้เครื่องกวนที่ความเร็วสูง เพื่อให้สารน้ำมันที่ลอยอยู่เฉพาะบนผิวหน้า และอนุภาคของแข็งที่ตกตะกอนบริเวณก้นถังได้กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งถัง ข้อมูลการทดลองบำบัดน้ำเสียสถานีบริการน้ำมันด้วยระบบการทำให้เป็นฟองลอย ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยการทดลองนี้ไม่จำเป็นต้องเติมสารลดแรงตึงผิว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกน้ำมัน ทั้งนี้เนื่องจากในสถานีบริการมีการบริการล้างรถ ซึ่งต้องใช้สารลดแรงตึงผิวในการทำทำความสะอาด จึงทำการเติมสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก(ซูเมธ, 2541) ผลการทดลองได้สรุปในตารางที่ 4.6 และในรูปที่ 4.9 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันโดยสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิดมีประจุบวก Betz Novus Polymer 2680 โดยประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ แต่การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการแยกน้ำมันไม่มากนัก โดยประสิทธิภาพการแยกน้ำมันสูงสุดที่ 70% เมื่อเติมสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ 150 มก/ล จากแนวโน้มของเส้นกราฟในรูปที่ 4.9 อาจทำนายได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์มากกว่า 150 มก/ล ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันน่าจะสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงระดับหนึ่งจะคงที่ ดังนั้นในการนำไปประยุกต์ในการใช้บำบัดน้ำเสียจริงที่มีขนาดสเกลใหญ่ การใช้ปริมาณสารเคมีที่มากเกินไป อาจไม่เหมาะสมตามหลักเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันของสถานบริการน้ำมันโดยระบบการทำให้เป็นฟองลอย โดยใช้สารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลาเก็บกักคงที่ที่ 0.5 ชั่วโมง และ อัตราการไหลของอากาศคงที่ที่ 400 ลิตรต่อชั่วโมง

ความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์ (มก/ล)	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารน้ำมัน %
0	49.3
25	60.0
50	61.9
75	66.7
100	68.0
150	70.0



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันที่ความเข้มข้นต่างๆของสาร Cationic polyelectrolyte ในการบำบัดน้ำเสียสถานบริการ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. เวลาเก็บกักมีผลต่อประสิทธิภาพการแยกสารดีไอพี กล่าวคือ เวลาเก็บกักยาวนานขึ้น ประสิทธิภาพการแยกสารดีไอพีเพิ่มสูงขึ้น แต่ถ้าเวลาเก็บกักยาวนานเกินไป ประสิทธิภาพกลับลดต่ำลง
2. ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีผลต่อประสิทธิภาพการแยกสารดีไอพี โดยประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ โดยถ้าความเข้มข้นสูงกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ ประสิทธิภาพลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากสารดีไอพีจะละลายในไมเซลล์
3. สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า การเติมสาร SDS ให้ประสิทธิภาพสูงสุด สภาวะเหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ได้แก่ เวลาเก็บกักเท่ากับ 0.5 ชั่วโมง และความเข้มข้นสาร SDS เท่ากับ 1.0CMC หรือ 2.08 ก/ล
4. ประสิทธิภาพการบำบัดสำหรับน้ำเสียดีไอพี โดยเติมสาร SDS ที่ความเข้มข้น 1.0 CMC พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารดีไอพี และซีไอดี เท่ากับ 14.90% และ 10.50% ตามลำดับ
5. ความเข้มข้นของสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิดมีประจุบวก(Betz Novus Polymer 2680) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันสำหรับน้ำเสียสถานีบริการน้ำมัน คือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์ ประสิทธิภาพการกำจัดจะมากขึ้นด้วย
6. ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันสำหรับน้ำเสียสถานีบริการ เมื่อเติมสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 150 มก/ล พบว่าสามารถแยกสารน้ำมันได้สูงถึง 70%

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการแยกสารน้ำมัน ควรมีการศึกษา ได้แก่

- ความเป็นกรดต่าง มีผลทำให้ความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แรงผลักระหว่างส่วนหัวจะมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าซีเอ็มซีจะมีค่าสูงขึ้น
- การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดต่างกัน โดยในกรณีที่คุณภูมิเพิ่มขึ้น สารชนิดไม่มีขั้วจะเพิ่มพันธะไฮโดรเจน ระหว่างส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวกับโมเลกุลของน้ำ ทั้งนี้จะมีผลต่อขนาดและการให้แรงที่ 1 ซึ่งจะให้ค่าซีเอ็มซีที่ต่ำลง ในกรณีของสารลดแรงตึงผิวที่มีขั้ว อุณหภูมิจะไม่มีผลต่อขนาดของแรงผลักระหว่างส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งอธิบายได้โดยกฎเทอร์โมไดนามิก

- ขนาดของฟองอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด โดยพบว่าขนาดของฟองที่ใหญ่ขึ้นทำให้ Specific surface area ลดลง จะทำให้ปริมาณฟองลดลง ส่งผลให้ฟองอากาศเหลือพื้นที่ผิวสำหรับให้สิ่งสกปรกมาเกาะน้อยลง
- เนื่องจากต้องใช้สารพอลิเมอร์ชนิดมีประจุบวกในการบำบัดน้ำเสียสถานบริการน้ำมันในความเข้มข้นที่สูง(มากกว่า 150 มก/ล) เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันเกินกว่า 70% ดังนั้นควรศึกษาระบบ Dual polymer ซึ่งเป็นการใช้สารพอลิเมอร์ 2 ชนิด เพื่อเพิ่มการเกิด flocculation และทำให้ floc มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งน่าจะช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันดีขึ้น (Zhu, 1997)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

สุเมธ ชวเดช, รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 2 โครงการวิจัยการพัฒนาระบบ Froth flotation สำหรับบำบัดน้ำเสีย
สถานีบริการ, วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ภาษาอังกฤษ

Angelidou,C.E., Keshavarz,M.J. and Richardson, The removal of emulsified oil particles from water
by flotation, ing.eng.chem.pro.des.dev.,16(4), 1977, 436-441.

APHA, AWWA and WEF, Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 18th ed.,
Washington DC : American Public Health Association, 1992.

Bolto,B.A., et al, The Use of Soluble Organic Polymer in Waste Treatment, Water Science
Technology, 34(9), 1996, 117-124.

BHP research, News from BHP, NSW, Australia, 28 dec.1992.

Clint,J.H., Surfactant Aggregation, Chap.11, New york : Blackie&Son, 1992, 1-11.

Davies,J.T. and Rideal,E.K., Interfacial Phenomena, 2nd ed., New York : Academic, 408, 1963.

Dean,O.H. and Lemlich,R., Bubble and Foam Fractionation Combined, I&EC Process Desing and
Development, Ohio, 4(1), 1965, 13-16.

Garcia,A.B. and Martinez-Tarzona,M.R., Removal of Trace Elements from Spanish Coals, Fuel, 72,
1993, 329-335.

Gibbs,J.W., Collected Works, New York : Longmans, 1928.

Itoyokumbul,M.T., Bulani,W. and Kosaric,N., Flotation Kinetics for Titanium,Zirconium and Bitumen
Recovery from Oil Sand, Can.J.Chem.Eng., 66, 1988, 382-385.

Kubota,K., Harima,T. and Hayashi,S., Removal of Fine Particles from Aqueous Medium of Flotation :
Sodium Dodecylbenzenesulfonate-Barium Sulfate System, The Can.J.of Chem.Eng., 68,
1990, 608-613.

Matis,K.A. and Mavros,P., Foam/Froth Flotation : Part II. Removal of Particulate Matter, Separation
and Purification Methods, 20(2), 1991, 163-198.

Mular and Bhappu, Mineral Processing Plant Design, 2nd ed., New York : AIME, 1980.

- Pal,R. and Masliyah,J., Oil Recovery From Oil Water Emulsions Using a Flotation Column, The Can.J. Chem. Eng., 68, 1990, 959-967.
- Perry,R. and Green,D., Perry's Chemical Engineer's Handbook, 6th ed., McGraw-Hill, 1984, 21-50.
- Personal Communication from BHP Research, NSW, Australia, March.1993.
- Pongstabadee,S., Removal of Ortho-dichlorobenzene by Froth Flotation under Winsor TypeIII Conditions, Thesis of Master of Science, The Petroleum and Petrochemical Collage, Chulalongkorn University, 1996.
- Porter,M.R., Handbook of Surfactants, 2nd ed, Melboure : Chapman&Hull, 1995, 26-39.
- Reznikov,I.G. and Bavika,V.I., Maslozhir Prom, 32(27), 1966.
- Rosen,M.J., Surfactants and Interfacial Phenomena, 2nd ed., New York : John Wiley&Son, 1989, Chap. 1, 3 and 4.
- Scamehorn,J.F. and Harwell,J.H., Surfactant-based Separation Processes, New York : Marcel Dekker, 1989.
- Sylvester,N.D. and Byeseda,J.J., Oil/Water Separation by Induced Air Flotation, Soc.Pet.Eng.J., 20, 1980, 579-590.
- Van Ham,N.J.M., Behie,L.A. and Svrcek,W.Y., The Effect of Air Distribution on The Induced Air Flotation of Fine Oil in Water Emulsions, Can.J.Chem.Eng., 61, 1983, 514-547.
- Watanabe,K., Yamanouchi,U.Y. and Nagata,O., Present Situation and Problems Related to Marine Oily-Water Separating Techniques, Water Science Technology, 23, 1991, 319-328.
- Wungrattanasopon,P., Scamehorn,J.F., Chavadej,S., Saiwan,C. and Harwell,J.H., Use of Foam Flotation to Remove Tert-Butylphenol from Water, Sep.Sci.&Tech., 31(11), 1995, 1-51.
- Yoshiyuki,O. and Eng,J.C., Foam Separation Processes, Handbook of Separation. Techniques for Chemical Engineers, New York : Mc Graw-Hill, 1979, 183-197.
- Zhu,X.F., Reed,B.E., Lin,W. Carriere,P.E. and Roark,G., Investigation of Emulsified Oil Wastewater Treatment with Polymers, Separation Science and Technology, New York : Marcel Dekker Inc., 32(13), 1997, 2173-2187.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



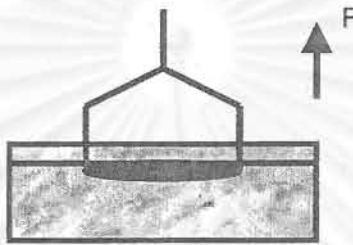
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การวัดค่าแรงตึงผิว

วิธีการนี้แรงที่ใช้ต้านแรงตึงผิวที่ผิวหน้าหรือรอยต่อระหว่างชั้นเฟส วัดได้จากการต่อวงแหวนกับเครื่องชั่ง หรือวัดโดยการใช้ลวดวงแหวนที่มีการใช้โดยทั่วไป ชื่อ เตอะนิวเทนซิโอมิเตอร์ (de Nouy tensiometer)



รูป ก-1 การวัดแรงตึงผิวโดยวิธีวงแหวนเตอะนิวส์

แรงที่วัดได้ดังกล่าวจะสัมพันธ์กับค่าแรงตึงผิว ดังสมการนี้

$$\gamma = \frac{\beta F}{4\pi R}$$

เมื่อ F คือ แรงดึงบนวงแหวน

R คือ ค่าเฉลี่ยรัศมีของวงแหวน

β คือ ค่าตรวจแก้ของเครื่องมือ

เพื่อให้การวัดมุมสัมผัสได้ค่าที่ถูกต้องที่สุด ควรทำการปรับมุมสัมผัสให้เป็นศูนย์ ทำโดยการทำความสะอาดวงแหวนแพลทินัมในกรดเข้มข้น หรือ โดยการเผาไฟ วงแหวนนี้จำเป็นจะต้องเป็นแผ่นแบน และวางให้เป็นระนาบเดียวกับพื้นผิวของสารที่ต้องการวัด สำหรับการค่าวัดแรงตึงผิวของของเหลวที่มี 2 ชั้น จะต้องจุ่มวงแหวนให้สัมผัสกับของเหลวชั้นล่าง

ค่าตรวจแก้ β นำมาใช้กับแรงตึงผิวในระดับที่พื้นผิวไม่อยู่ในระนาบ และสำหรับของเหลวผสมที่จะพยุวงแหวนตรงจุดแยกชั้น ฉะนั้นค่าตรวจแก้จะขึ้นกับรัศมีของวงแหวน และสภาวะของสาร 2 ชั้นนั้นๆ ตารางค่าตรวจแก้ของ Harkins และ Jordan ซึ่งได้มาจากการคำนวณจากสมการของ Zuidema และ Waters :

$$(\beta - a)^2 = \frac{4b \cdot 1.F}{\pi^2 R^2 4\pi^2 (\rho_1 - \rho_2)} + c$$

เมื่อ ρ_1 และ ρ_2 คือ ความหนาแน่นของของเหลวชั้นล่างและชั้นบน

$a = 0.7250$ และ $b = 0.09075 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-2}$ สำหรับวงแหวนทุกขนาด

$c = 0.04534 - 1.679 r / R$

r คือ รัศมีของเส้นลวด

ตารางที่ ก-1 ค่าตรวจแก้แรงดึงผิวของการวัดด้วยวิธีด้วยวงแหวนของ HARKINS และ JORDAN
ที่ 20°C $R = 9.545$ มม, $R/r = 51.6$ (Standard Kruss ring)

(D-d)	0.65	0.8	1.0	1.2	1.4
$S^* [\text{mN/m}]$	F_k	F_k	F_k	F_k	F_k
100	1.070	1.049	1.026	1.011	0.998
97	10.65	1.043	1.023	1.008	0.995
94	1.063	1.040	1.020	1.005	0.993
91	1.058	1.037	1.018	1.003	0.991
88	1.054	1.034	1.014	1.000	0.988
85	1.052	1.031	1.012	0.998	0.986
82	1.049	1.029	1.009	0.995	0.984
79	1.043	1.024	1.006	0.991	0.980
76	1.040	1.023	1.003	0.988	0.977
73	1.037	1.018	1.000	0.986	0.974
70	1.033	1.014	0.996	0.982	0.972
67	1.028	1.011	0.993	0.979	0.968
64	1.023	1.006	0.990	0.976	0.964
61	1.019	1.003	0.985	0.973	0.960
58	1.015	0.999	0.982	0.969	0.956
55	1.012	0.996	0.978	0.964	0.953
52	1.007	0.990	0.974	0.959	0.950
50	1.004	0.988	0.972	0.957	0.945
48	1.001	0.985	0.967	0.954	0.943
46	0.998	0.980	0.964	0.951	0.941
44	0.994	0.978	0.960	0.948	0.938
42	0.990	0.975	0.957	0.944	0.935
40	0.987	0.972	0.954	0.941	0.931
38	0.981	0.968	0.951	0.938	0.929

36	0.979	0.963	0.946	0.935	0.923
31	0.975	0.958	0.942	0.931	0.919
32	0.970	0.954	0.940	0.926	0.915
30	0.964	0.950	0.935	0.921	0.911
28	0.959	0.944	0.930	0.916	0.906
26	0.954	0.940	0.924	0.911	0.904
24	0.949	0.935	-	-	-
22	0.942	0.929	-	-	-
20	0.937	0.921	-	-	-
19	0.933	0.918	-	-	-
18	0.930	0.914	-	-	-
17	0.924	0.911	-	-	-
16	0.920	0.906	-	-	-



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลองหาความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว

ตารางที่ ข-1 แสดงผลการศึกษาค่าซีเอ็มซีของ SDS

ค่าความเข้มข้น (μM)	ค่าแรงตึงผิว	ค่าตรวจแก้	ค่าแรงตึงผิว (dyne/cm)
499.5	61.45	0.986	60.59
2000.6	45.00	0.966	42.47
3501.0	36.05	0.946	34.10
5000.0	31.70	0.939	29.77
6000.0	32.60	0.941	30.68
7000.0	33.90	0.942	31.93
8000.0	33.00	0.941	31.05
9000.0	36.00	0.946	34.06
10000.0	35.45	0.945	33.49
15000.0	37.30	0.949	35.40

ตารางที่ ข-2 แสดงผลการศึกษาค่าซีเอ็มซีของ CTAB

ค่าความเข้มข้น (μM)	ค่าแรงตึงผิว	ค่าตรวจแก้	ค่าแรงตึงผิว (dyne/cm)
137.19	47.70	0.967	46.10
274.38	43.10	0.959	41.32
548.76	40.00	0.954	38.16
812.16	38.50	0.953	36.67
850.57	37.90	0.952	36.07
878.01	38.00	0.952	36.16
905.45	37.20	0.949	35.30
919.17	36.50	0.947	34.57
932.89	35.90	0.946	33.95
1097.51	36.60	0.948	34.68
1371.89	36.90	0.948	34.99
1646.27	37.20	0.949	35.30

ตารางที่ ข-3 แสดงผลการศึกษาค่าซีเอ็มซีของ Teric N10

ค่าความเข้มข้น (μM)	ค่าแรงดึงผิว	ค่าตรวจแก้	ค่าแรงดึงผิว (dyne/cm)
1.52	48.20	0.968	46.63
7.58	43.70	0.960	41.93
15.15	39.10	0.953	37.25
30.30	34.80	0.944	32.84
75.76	35.30	0.945	33.34
113.64	35.70	0.945	33.75
151.52	35.90	0.946	33.95
227.27	36.10	0.946	34.16
303.03	36.80	0.948	34.89
606.06	37.10	0.949	35.20
757.58	36.80	0.948	34.89

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

วิธีการวิเคราะห์ค่าซีโอดี

ความหมาย

COD (Chemical Oxygen Demand) คือ การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นสารอินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่างน้ำเสีย โดยการใช้สารออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำเสีย โดยคำนวณปริมาณความเข้มข้นสารอินทรีย์ในรูปของออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ โดยสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์อาจเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์(biodegradable) และย่อยสลายไม่ได้โดยจุลินทรีย์(nonbiodegradable)

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นการกลั่นแบบไหลกลับคืน(reflux apparatus) ประกอบด้วย

1. ขวดก้นกลม(round-bottom flask) หรือขวดก้นแบน(flat-bottom flask) ขนาดความจุ 250 ลบ ซม
2. เครื่องควบแน่น(condenser) ขนาดความยาว 45 ซม
3. เตาชนิด hot plate หรือ heating mantle ซึ่งสามารถให้กำลังอย่างน้อย 9 วัตต์/ตร นิ้ว ต่อพื้นที่ผิวของขวดรูปชมพู่(conical flask)

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต($K_2Cr_2O_7$) 0.25 N
ละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่อบแห้งดีแล้ว 12.259 กรัม ในน้ำกลั่น เดิมกรดซัลฟามิค 0.12 มล แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2. กรดกำมะถันรีเอเจนต์(Sulfuric acid reagent)
ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต(Ag_2SO_4) 22 กรัม ในกรดกำมะถันเข้มข้น บรรจุขวดขนาด 9 ปอนด์ (2.65 ล) เนื่องจาก Ag_2SO_4 ละลายยาก อาจต้องใช้เวลานาน 1-2 วัน จึงจะละลายหมด
3. สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต(Standard ferrous ammonium sulfate) 0.1 นอร์มัล
ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) ชนิดเอ อาร์(Analytical-grade reagent) 39 กรัม ในน้ำกลั่น เดิมกรดกำมะถันเข้มข้น 20 มล สารละลายนี้จะต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนทุกครั้งที่ใช้ โดยไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต

การหาความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์ริคแอมโมเนียมซัลเฟต

เจือจางสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ 10 มล ให้มีปริมาตรเป็น 100 มล เติมกรดกำมะถันรีเอเจนต์ 30 มล ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที ปล่อยให้เย็นแล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายเฟอร์ริคแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้ ferroin จำนวน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์

การคำนวณ

$$\text{Normality} = \frac{\text{มล } K_2Cr_2O_7 * 0.25}{\text{มล } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2}$$

4. สารละลาย ferrion indicator

ละลาย 1,10-Phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) 1.485 กรัม พร้อมกับ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางให้เป็น 100 มล

5. เมอร์คิวรีซัลเฟต (Hg_2SO_4) ชนิดเป็นผลึกบริสุทธิ์

ใช้เป็นตัวกำจัดอนุภาคคลอไรด์ ได้ในอัตราส่วน $Hg_2SO_4 : Cl^- = 10 : 1$ แม้มีตะกอนเกิดขึ้นเล็กน้อยหลังเติม Hg_2SO_4 ก็ไม่มีผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์แต่อย่างใด

วิธีการวิเคราะห์

1. ใส Hg_2SO_4 0.4 กรัม และลูกแก้ว 5-10 เม็ด ลงในขวดรูปชมพู่
2. เติมตัวอย่างน้ำหรือส่วนของตัวอย่างเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวม 20 มล
3. เติมสารละลายมาตรฐาน 0.25 นอร์มัล $K_2Cr_2O_7$ 10 มล
4. ค่อยๆเติม Hg_2SO_4 เข้มข้น รีเอเจนต์ซ็อล 2 ลงไป 30 มล พร้อมทั้งกวนโดยเหวี่ยงขวดอย่างช้าๆ ในการเติมกรด
5. เขย่าสารผสมให้เข้ากันดี กลั่นเป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ในขณะที่ทำการกลั่นต้องเปิดน้ำหล่อเย็นตลอดเวลา ปล่อยให้เย็น แล้วฉีดล้างส่วนที่ค้างอยู่ในเครื่องควบแน่นด้วยน้ำกลั่นก่อนถอดขวดรูปชมพู่ออก เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ส่วนผสมมีปริมาตรเป็น 140 มล โดยประมาณ ปล่อยให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง
6. ไทเทรตสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือจากปฏิกิริยา ด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์ริคแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้ ferroin เป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จนกระทั่งส่วนผสมเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง แสดงว่า ถึงจุดยุติแล้ว
7. ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่น 20 มล แทนตัวอย่างน้ำ และทำเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำทุกประการ reflux พร้อมกันไป

การคำนวณ

$$\text{มล / ล COD} = \frac{(a - b) * C * 8000}{\text{มล ของตัวอย่างน้ำ}}$$

- เมื่อ a = มล ของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้กับ blank
 b = มล ของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้กับตัวอย่างน้ำ
 c = normality ของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

หมายเหตุ

กรดซัลฟามิคใส่ลงในสารละลายมาตรฐานปอตัสเซียมไดโครเมต เพื่อกำจัดไนโตรทรี เนื่องจากไนโตรทรีไนโตรเจน(Nitrite nitrogen) 1 มล จะให้ค่า COD 1.14 มล

กรดซัลฟามิค 10 มล กำจัดไนโตรทรีไนโตรเจนได้ 1 มล กรดซัลฟามิค 0.12 กรัม ในสารละลายไดโครเมต 1 ลิตร จะสามารถกำจัดไนโตรทรีไนโตรเจนได้ถึง 6 มล/1 หรือ 0.12 มล ต่อ 20 ลบ ซม ในกรณีนี้ไนโตรทรีไนโตรเจนมีความเข้มข้นมากกว่า 6 มล/1 มล ต้องเจือจางด้วยน้ำ ในการที่เติมกรดซัลฟามิคลงไป สารละลายปอตัสเซียมไดโครเมตเป็นการสะดวกและไม่ทำให้ค่าซีไอดีผิดไป เนื่องจากจะต้องทำ blank จากน้ำกลั่นอยู่แล้ว

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารน้ำมัน(Oil & Grease) ด้วยกรวยสำหรับแยก

หลักการ

การวัดปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย เป็นการวัดปริมาณรวมของกลุ่มน้ำมันและไขมันที่มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถละลายรวมกันได้ในตัวทำละลาย เช่น นอร์มัลเฮกเซน จากนั้นเมื่อระเหยตัวทำละลายออกไป อบแห้งแล้วทิ้งไว้ให้เย็น ซึ่งหาน้ำหนักที่เหลือจะเป็นปริมาณน้ำมันและไขมันทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีข้อควรระวังเพิ่มเติม คือ เรื่องการเก็บตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์ ควรเก็บในขวดแก้วความจุ 1 ลิตร ถ้าไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ภายใน 2-3 ชั่วโมง ต้องเติมกรดกำมะถัน(1+1) จำนวน 5 มล ต่อตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร ทันทีที่เก็บตัวอย่าง เนื่องจากน้ำมันและไขมันมักจะติดข้างภาชนะต่างๆที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำ ดังนั้นการเก็บตัวอย่างรวมจึงไม่เหมาะสมเมื่อเทียบกับการเก็บตัวอย่างเฉพาะตามช่วงเวลาที่ต้องการ และทำการวิเคราะห์แต่ละตัวอย่าง นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าที่ถูกต้องมากกว่า

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กรวยแยก ความจุ 2,000 มล พร้อมจุกที่ทำด้วยเทฟลอน
2. เครื่องดูดอากาศ
3. ขวดกลั่น ความจุ 125 มล
4. กระดาษกรอง Whatman No.40 เส้นผ่านศูนย์กลาง 11 ซม
5. เครื่องอังน้ำ
6. โถทำแห้ง(Desiccator)
7. กรวยกรอง

วิธีการวิเคราะห์

1. เก็บตัวอย่างน้ำประมาณ 1 ลิตร และซีกระดับน้ำในขวดตัวอย่าง เพื่อจะหาปริมาตรที่แน่นอนภายหลัง ถ้าตัวอย่างน้ำไม่ได้เก็บรักษาด้วยกรดกำมะถันในขณะที่เก็บ ต้องทำการปรับพีเอชเป็น 2 หรือน้อยกว่า ด้วยกรดกำมะถัน
2. เทตัวอย่างน้ำทั้งหมดลงในกรวยแยก

3. เติมนอร์มัลเฮกเซน จำนวน 30 มล ลงในขวดตัวอย่าง หมุนขวดให้นอร์มัลเฮกเซนระเหยน้ำมันและไขมันที่ติดข้างขวดให้หมด แล้วเทรวมกับตัวอย่างในกรวยแยก สกัดโดยการเขย่าแรงๆ เป็นเวลา 2 นาที ปล่อยให้ชั้นน้ำมันแยกออกจากน้ำ

4. ชั่งหาน้ำหนักของขวดกลั่นที่อบแห้ง(103°C) กรองชั้นของตัวทำละลายจากกรวยแยกผ่านกระดาษกรองที่ชุบด้วยนอร์มัลเฮกเซนลงในขวดกลั่น

หมายเหตุ ส่วนที่เป็นอีมีลชัน ทำให้แตกออกได้โดยเทผ่านโซเดียมซัลเฟต 1 กรัม ที่อยู่ก้นกระดาษกรองรูปกรวย และอาจเติมโซเดียมซัลเฟตลงไปอีก 1 กรัมได้ถ้าต้องการ

5. ทำตามข้อ 3 และ 4 ซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยเติมตัวทำละลายลงไปใหม่อีกตามสมควร ต้องบันทึกปริมาตรที่ใช้แต่ละครั้งไว้ รวมตัวทำละลายทั้งหมดลงในขวดกลั่น

6. ชะล้างกรวยแยก กระดาษกรอง และกรวยกรองด้วยตัวทำละลาย 10-20 มล แล้วเทรวมลงในขวดกลั่น

7. ระเหยตัวทำละลายให้แห้งบนเครื่องอังน้ำที่ 70°C แล้วทำให้แห้งมากขึ้นโดยวางขวดกลั่นในเครื่องอังน้ำที่ปิดฝาได้ 15 นาที ดูดอากาศผ่านขวดกลั่นโดยอาศัยเครื่องดูดอากาศเป็นเวลา 1 นาที

8. ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งเป็นเวลา 30 นาที นำมาชั่งหาน้ำหนักรวม

9. หาปริมาตรตัวอย่างน้ำ โดยตวงน้ำลงในขวดตัวอย่างจนถึงระดับที่ขีดไว้ ก็จะทราบปริมาตรของตัวอย่างน้ำนั้น

การคำนวณ

$$\text{มก / ลบ คม ปริมาตรน้ำมันและไขมันทั้งหมด} = \frac{(B - A) (100)}{\text{มล ของตัวอย่างน้ำที่ใช้}}$$

เมื่อ B = น้ำหนักรวมเป็นมิลลิกรัม ของน้ำมันและไขมัน + น้ำหนักขวดกลั่น

A = น้ำหนักขวดกลั่นอบแห้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยระบบการทำให้ลอย

ตารางที่ จ-1 ข้อมูลการทดลองเพื่อหาเวลาเก็บกักที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์

อัตราการไหลของอากาศคงที่ 400.0 ลิตร / ชั่วโมง

เวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ครั้งที่	ความเข้มข้นของ ดีไอพีขาเข้า (มก/ล)	ความเข้มข้นของ ดีไอพีขาออก (มก/ล)	% ประสิทธิภาพ ของการบำบัด
0.5	1	294.66	209.27	
	2	277.11	246.74	
	3	278.63	257.17	
	4	260.45	235.50	
เฉลี่ย		277.71	237.17	14.60
1.0	1	476.84	359.19	
	2	395.25	340.80	
	3	384.98	342.42	
	4	296.12	275.00	
เฉลี่ย		388.30	329.25	15.18
2.0	1	285.82	262.33	
	2	328.82	294.07	
	3	298.45	263.03	
	4	289.15	266.07	
เฉลี่ย		300.56	271.38	9.71

ตารางที่ ๑-2 ข้อมูลการทดลองเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ Sodium dodecyl sulfate (SDS) สำหรับ
น้ำเสียสังเคราะห์

เวลาเก็บกักเท่ากับ	0.5	ชั่วโมง
อัตราการไหลของน้ำเสีย	32.0	ลิตร / ชั่วโมง
อัตราการไหลของอากาศคงที่	400.0	ลิตร / ชั่วโมง

เวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ครั้งที่	ความเข้มข้นของ ดีไอพีขาเข้า (มก/ล)	ความเข้มข้นของ ดีไอพีขาออก (มก/ล)	% ประสิทธิภาพ ของการบำบัด
0.5	1	564.48	344.71	
	2	506.58	416.39	
	3	571.83	361.11	
	4	505.80	410.18	
เฉลี่ย		537.17	383.17	28.67
1.0	1	431.77	240.83	
	2	331.09	245.59	
	3	479.45	246.45	
	4	346.09	250.63	
เฉลี่ย		397.10	245.88	38.08
2.0	1	384.85	282.96	
	2	775.28	548.84	
	3	360.04	314.81	
	4	756.32	465.65	
เฉลี่ย		569.12	403.06	29.18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-3 ข้อมูลการทดลองเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์

เวลาเก็บกักเท่ากับ	0.5	ชั่วโมง
อัตราการไหลของน้ำเสีย	32.0	ลิตร / ชั่วโมง
อัตราการไหลของอากาศคงที่	400.0	ลิตร / ชั่วโมง

เวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ครั้งที่	ความเข้มข้นของ ดีไอพีขาเข้า (มก/ล)	ความเข้มข้นของ ดีไอพีขาออก (มก/ล94)	% ประสิทธิภาพ ของการบำบัด
0.5	1	396.81	355.94	
	2	359.80	301.29	
	3	403.31	316.46	
	4	322.81	288.69	
เฉลี่ย		370.68	315.60	14.86
1.0	1	318.59	263.62	
	2	427.12	250.97	
	3	351.31	259.72	
	4	387.08	268.18	
เฉลี่ย		371.02	260.62	29.76
2.0	1	380.34	309.72	
	2	45.40	311.18	
	3	403.20	316.30	
	4	324.18	282.87	
เฉลี่ย		378.28	305.20	19.37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑-4 ข้อมูลการทดลองเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ Nonylphenol ethoxylate (TERIC N10) สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์

เวลาเก็บกักเท่ากับ	0.5	ชั่วโมง
อัตราการไหลของน้ำเสีย	32.0	ลิตร / ชั่วโมง
อัตราการไหลของอากาศคงที่	400.0	ลิตร / ชั่วโมง

เวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ครั้งที่	ความเข้มข้นของ ดีไอพีขาเข้า (มก/ล)	ความเข้มข้นของ ดีไอพีขาออก (มก/ล)	% ประสิทธิภาพ ของการบำบัด
0.5	1	370.40	316.05	
	2	354.15	304.45	
	3	362.07	305.45	
	4	355.21	308.41	
เฉลี่ย		360.45	308.59	14.39
1.0	1	381.48	339.52	
	2	402.92	353.32	
	3	522.11	358.59	
	4	534.16	361.26	
เฉลี่ย		460.17	353.17	23.25
2.0	1	373.15	355.38	
	2	381.49	360.09	
	3	419.49	359.67	
	4	422.68	360.28	
เฉลี่ย		399.20	358.85	10.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการทดลองบำบัดน้ำเสียดีไอพี(น้ำเสียจริง)โดยระบบการทำให้ลอย

ตารางที่ จ-1 ข้อมูลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดสารดีไอพีของน้ำเสียดีไอพี

สารลดแรงตึงผิว	Sodium dodecyl sulfate - SDS	
ความเข้มข้นของ SDS	1.0	เท่าของซีเอ็มซี
เวลาเก็บกัก	0.5	ชั่วโมง
อัตราการไหลของอากาศคงที่	400.0	ลิตร / ชั่วโมง
ความเข้มข้นของสารดีไอพีก่อนเข้าเฉลี่ย	75.54	มก / ล

ครั้งที่	ความเข้มข้นของดีไอพีขาออก (มก / ล)	% ประสิทธิภาพของการบำบัด
1	73.88	
2	67.27	
3	53.23	
4	62.75	
เฉลี่ย	64.28	14.90

ตารางที่ จ-2 ข้อมูลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของน้ำเสียดีไอพี

ปริมาณซีไอดีของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ เท่ากับ 1,459.20 มก / ล

ครั้งที่	ค่าซีไอดีน้ำออก(มก / ล)	% ประสิทธิภาพของการลดซีไอดี
1	1428.48	
2	1305.60	
3	1213.44	
4	1274.88	
เฉลี่ย	1305.60	10.53

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลองบำบัดน้ำเสียสถานบริการน้ำมันโดยระบบการทำให้อย

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันของน้ำเสียสถานบริการ

สารพอลิเมอร์ชนิดมีประจุบวก	Betz Novus Polymer 2680	
เวลาเก็บกัก	0.5	ชั่วโมง
อัตราการไหลของอากาศคงที่	400.0	ลิตร / ชั่วโมง
อัตราการไหลของน้ำเสีย	32.0	ลิตร / ชั่วโมง

ความเข้มข้น สารพอลิเมอร์ (มก / ล)	ครั้งที่	ความเข้มข้นของ สารน้ำมันขาเข้า (มก / ล)	ความเข้มข้นของ สารน้ำมันขาออก (มก / ล)	% ประสิทธิภาพของ การบำบัด
0	1	83.67	41.0	49.3
	2	86.99	45.52	
	เฉลี่ย	85.33	43.26	
25	1	85.50	58.55	60.0
	2	87.74	61.45	
	เฉลี่ย	86.67	60.0	
50	1	72.20	26.5	61.9
	2	67.80	26.84	
	เฉลี่ย	70.0	26.67	
75	1	70.45	24.76	66.7
	2	69.55	21.9	
	เฉลี่ย	70.0	23.33	
100	1	82.0	28.9	67.99
	2	84.67	24.44	
	เฉลี่ย	83.33	26.67	
150	1	78.85	23.0	69.96
	2	76.49	23.67	
	เฉลี่ย	77.67	23.33	

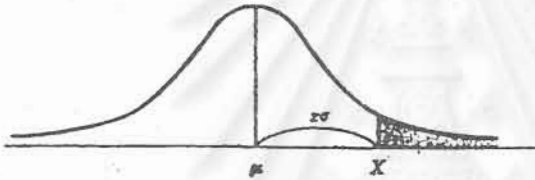
ภาคผนวก ข

การเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

นำข้อมูลมาทำการหาค่าทางสถิติ โดยทำการคำนวณหาค่า Normal Deviate และนำค่าที่ได้มาเปิดหาค่า P-Value จากตารางที่ ข-1 และตารางที่ ข-2 แสดงการเปรียบเทียบค่า Normal Deviate กับค่า P-Value

ตารางที่ ข-1 แสดงค่า P-Value

TABLE I
Areas Under the Normal Curve



Example

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

$$P[Z > 1] = .1587$$

$$P[Z > 1.96] = .0250$$

Normal Deviate z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641
0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
2.9	.0019	.0018	.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
3.0	.0013	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0011	.0010	.0010

ตารางที่ ซ-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

การเปรียบเทียบค่าทางสถิติของเวลาเก็บกักที่ 0.5, 1.0 และ 2.0 ชั่วโมง

เวลาเก็บกัก (ชม)	ค่าเฉลี่ย % ประสิทธิภาพการบำบัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เปรียบเทียบ	Normal Deviate	P-Value
0.5	14.31	9.87	0.5 กับ 1.0	0.02	0.492
1.0	14.16	7.52	1.0 กับ 1.5	1.16	0.123
2.0	9.66	1.88	1.5 กับ 0.5	0.93	0.1762

การเปรียบเทียบค่าทางสถิติของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5

สารลดแรงตึงผิว	ความเข้มข้น	ค่าเฉลี่ย % ประสิทธิภาพ การบำบัด	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	เปรียบเทียบ	Normal Deviate	P-Value
SDS	0.5	28.11	11.34	0.5 กับ 1.0	1.04	0.15
	1.0	36.56	11.54	1.0 กับ 1.5	1.26	0.10
	1.5	26.67	10.71	1.5 กับ 0.5	0.18	0.43
CTAB	0.5	14.67	5.34	0.5 กับ 1.0	2.50	0.01
	1.0	28.82	9.99	1.0 กับ 1.5	1.78	0.04
	1.5	19.03	4.61	1.5 กับ 0.5	1.24	0.11
TERIC N10	0.5	14.38	1.04	0.5 กับ 1.0	1.26	0.09
	1.0	21.75	11.68	1.0 กับ 1.5	1.85	0.03
	1.5	9.85	5.40	1.5 กับ 0.5	1.85	0.05