

การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวด้วยกระบวนการ  
อินดิซ์แอร์โฟลเทชัน



นาย ประจักษ์ ศาสตร์เวช

สถาบันวิทยบริการ


วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TREATMENT OF OILY WASTEWATER CONTAINING SURFACTANT BY INDUCED  
AIR FLOTATION PROCESS



Mr. Prajak Sastaravet

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering  
Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวด้วย  
กระบวนการอินดิวิจแอริโพลเทชัน

โดย

นายประจักษ์ ศาสตร์เวช

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(อาจารย์ ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรันย์ เตชะเสน)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. ศรายุทธ ราชู)

นายประจักษ์ ศาสตร์เวช: การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวด้วย  
กระบวนการอินดิซ์แอร์โฟลเทชัน. (TREATMENT OF OILY WASTEWATER  
CONTAINING SURFACTANT BY INDUCED AIR FLOTATION PROCESS)  
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล, 175 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด  
Sodium Dodecyl Sulphate (SDS) Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB) และ  
Polysorbate 20 (Tween 20) ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน อินดิซ์แอร์โฟลเทชัน (IAF) และ  
ไมดิฟายอินดิซ์แอร์โฟลเทชัน (MIAF) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับ  
กระบวนการต่างๆ เช่น ค่าพีเอช ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ อัตราการไหล จลนศาสตร์  
และตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์ จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดด้วยกระบวนการ  
โคแอกกูเลชันในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ให้ประสิทธิภาพการ  
บำบัดสูงสุดเท่ากับ 98.84 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณเฟอริกคลอไรด์ 0.8 กรัมต่อลิตร ในกรณีของ  
ตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 พบว่าปริมาณสาร  
โคแอกกูแลนต์ไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด โดยให้ประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง  
40-55 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองในส่วนของการบวนการ IAF พบว่าให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการ  
บำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS CTAB และ Tween 20 เท่ากับ  
69.28, 24.33 และ 48.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการศึกษาระบบการ MIAF ในการ  
บำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ให้ประสิทธิภาพการบำบัด  
สูงสุด 98.93 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณเฟอริกคลอไรด์ 0.8 กรัมต่อลิตร ในขณะที่สามารถบำบัด  
ตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 โดยให้  
ประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ในช่วง 30-40 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การศึกษากลศาสตร์ของกระบวนการ  
การ IAF และ MIAF เป็นปฏิกิริยาอันดับ 2 ให้ค่า  $k$  ในช่วง  $2 \times 10^{-4}$  -  $2 \times 10^{-6}$  (ลิตรต่อมิลลิกรัม  
วินาที) และความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัด จากการศึกษาตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์  
พบว่าค่าพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ ( $a$ ) และค่าความเร็วแกรเดียนท์ ( $G$ ) สัมพันธ์กับอัตราการไหล  
อากาศ โดยค่าสัดส่วน  $a/G$  สูงสุดให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้  
ความสัมพันธ์ดังกล่าวเพื่อบอกถึงประสิทธิภาพกระบวนการทำให้ลอยแบบได้

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อ นิสิต ประจักษ์ ศาสตร์เวช

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล

# #4970426121: MAJOR ENVIROMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: MODIFIED INDUCED AIR FLOTATION / DESTABILIZATION

Prajak Sastaravet: Treatment of Oily Wastewater Containing Surfactant by Induced Air Flotation Process. Advisor: Pisut Painmanakul Ph.D., 175 pp.

The objective of this research is to study the appropriate conditions for the treatment of oily wastewater containing Sodium Dodecyl Sulphate (SDS), Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB) and Polysorbate 20 (Tween 20) by Coagulation process, Induced Air Flotation process (IAF) and Modified Induced Air Flotation process (MIAF). Therefore, the obtained results could probably provide a better understanding of the oily wastewater treatment and the suitable operating conditions for high treatment efficiency. The analytical parameters, applied in this study, were pH values, types and concentrations of coagulants, gas flow rates, treatment kinetics and bubble hydrodynamic parameters. Firstly, the experimental results revealed that Coagulation process can provide the highest treatment efficiency equal to 98.84 percent for oily wastewater containing SDS with 0.8 g/l of Ferric chloride. However, only 40 to 55 percent treatment efficiencies were obtained with the oily wastewater containing CTAB and Tween 20. Due to the oily wastewater treatment by IAF process, the highest treatment efficiencies of oily wastewater containing SDS, CTAB, and Tween 20 were to 69.28, 24.33 and 48.19 percent, respectively. Moreover, it can be noted that the 98.93% treatment efficiency were observed in case of MIAF process with oily wastewater containing SDS at 0.8 g/l of Ferric chloride. MIAF process then can enhance the treatment performance. However, the treatment efficiencies of oily wastewater containing CTAB and Tween 20 were in the range of 30 to 40 percent. Due to the kinetic study of IAF and MIAF processes, the second-order reaction and reaction rate constant ( $k$ ) ranged between  $2 \times 10^{-4}$  and  $2 \times 10^{-6}$  L/mg<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> can be obtained and also related with the associated treatment efficiency. Furthermore, the interfacial area ( $a$ ) and velocity gradient ( $G$ ) increase with the gas flow rates. The  $a/G$  ratio related to the obtained treatment efficiency can be applied for investigating of the floatation efficiency.

Department: Environmental Engineering      Student's Signature Prajak S.

Field of Study: Environmental Engineering      Advisor's Signature P.S.P.

Academic Year: 2008

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ของอาจารย์ ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาโดยตลอด

คุณพ่อ คุณแม่ และทางบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนสำหรับการวิจัยจนสำเร็จการศึกษา

อาจารย์ ดร. วิบูลลักษณ์ พึ่งรัสมิ์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ และให้คำแนะนำในการทำงานห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาเป็นอย่างดี

เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกๆท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ และให้คำแนะนำในการทำงานห้องปฏิบัติการเป็นอย่างดี

ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมัน.....	5
2.2 ลักษณะโดยทั่วไปของการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมัน.....	7
2.3 สารลดแรงตึงผิว.....	10
2.4 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกคูเลชัน (Flocculation).....	12
2.5 กระบวนการทำให้ลอย (Flotation).....	24
2.6 การศึกษาด้านอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศ (Bubble hydrodynamic).....	31
2.7 กระบวนการโมติฟายอินดิวิชแอริโพลเทชัน (MIAF).....	34
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36
3. ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	42
3.1 การจัดอุปกรณ์การทดลองการทำให้ลอยและการเก็บตัวอย่าง.....	42

## สารบัญ

บทที่	หน้า
3.2 เครื่องมือแลอูปรกรณ์.....	42
3.3 สารเคมี.....	43
3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	45
3.4.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์.....	47
3.4.2 การศึกษาการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการอินดิวิชแอริโฟลเทชัน (IAF).....	49
3.4.3 การทดลองศึกษาการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	52
3.4.4 การทดลองศึกษาการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการ MIAF.....	58
4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	62
4.1 การศึกษาลักษณะสมบัติของตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์.....	62
4.1.1 การศึกษาค่าความขุ่นสำหรับเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์.....	62
4.1.2 การศึกษาลักษณะสมบัติของตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวได้แก่ขนาดหยดน้ำมัน ค่าความหนืด และค่าซีไอดี (COD).....	63
4.2 การศึกษาบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดด้วยกระบวนการทำให้ลอยแบบ (IAF).....	66
4.2.1 การศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด ๓ ชนิด.....	66
4.2.2 การศึกษาจลนศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด 3 ชนิด.....	70
4.3 การศึกษาบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดด้วยกระบวนการบำบัดทางเคมี (จาร์เทสต์).....	73
4.3.1 การศึกษาค่า pH เริ่มต้นที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ชนิด.....	73



สารบัญ

บทที่	หน้า
4.3.2 การศึกษาผลกระทบของเกลือ (NaCl) ที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด.....	82
4.3.3 การศึกษาผลกระทบของโพลีเมอร์ (Acrylamide polymer) ชนิดไม่มีประจุที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำ ากเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด.....	88
4.4 การศึกษาบำบัดตัวอย่างน้ำ ากเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดด้วยกระบวนการ (MIAF).....	94
4.4.1 การศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำ ากเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ด้วยกระบวนการ MIAF...	94
4.4.2 การศึกษาจลนศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำ ากเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ด้วยกระบวนการ MIAF.....	102
4.5 การวิเคราะห์ค่าคงที่ของปฏิกิริยาของกลไกการบำบัดในกระบวนการต่างๆ.....	105
4.5.1 การศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการ (IAF) กระบวนการโมดิฟายอินดิวิจแอโรโฟลเทชัน (MIAF) กระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการตกตะกอน.....	105
4.5.2 การวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (log k) ในกระบวนการ IAF และ MIAF.....	107
4.6 การวิเคราะห์ตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศในกระบวนการ IAF และ MIAF.....	115
4.6.1 การศึกษาขนาดฟองอากาศ ( $D_B$ ) ของกระบวนการ IAF และ MIAF.....	115
4.6.2 การศึกษาค่าพี นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ (a) และค่าความเร็วเกรเดียนท์ (G) ของกระบวนการ IAF และ MIAF.....	117
4.6.3 การศึกษาผลกระทบของสัดส่วนค่าพี นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ (a) ต่อค่าความเร็วเกรเดียนท์ (G) อัตราการไหลอากาศ และประสิทธิภาพของระบบบำบัด.....	121

**สารบัญ**

บทที่	หน้า
5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	125
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	125
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	129
รายการอ้างอิง.....	133
ภาคผนวก.....	136
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	182



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงวิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ละลาย.....	7
2.2	แสดงวิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันและไม่มีสารลดแ ตั้งผิวผสม.....	8
2.3	แสดงวิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึง ผิวผสม.....	9
2.4	แสดงวิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ลอยบนผิวน้ำ.....	9
2.5	โมเดลทางคณิตศาสตร์คำนวณความเร็วในการลอยตัวของฟองอากาศ.....	32
3.1	ลักษณะสมบัติของน้ำมันปาล์มบริษัท มรกต อินดัสตรี.ส์.....	44
3.2	ตัวแปรการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย.....	47
3.3	ตัวแปรการศึกษาการเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง.....	48
3.4	ตัวแปรการศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศ ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียร ภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการAF.....	50
3.5	ตัวแปรการศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการ IAF ที่เหมาะสมในการทำลาย เสถียรภาพของหยดน้ำมัน.....	52
3.6	ตัวแปรการศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีความเหมาะสมกับสารโคเอกกูแลนต์ที่ได้แก่ สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์.....	53
3.7	ตัวแปรการศึกษาผลของปริมาณของโคเอกกูแลนต์ ที่เหมาะสมในการทำลาย เสถียรภาพของหยดน้ำมัน.....	55
3.8	ตัวแปรการศึกษาผลกระทบของปริมาณเกลือ (NaCl) ที่มีผลต่อปริมาณสาร โคเอกกูแลนต์สำหรับการบำบัด.....	56
3.9	ตัวแปรการศึกษาผลกระทบของปริมาณโพลีเมอร์ ที่มีผลต่อปริมาณสาร โคเอกกูแลนต์สำหรับการบำบัด.....	58
3.10	ตัวแปรการศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศ และความเข้มข้นของสาร โคเอกกูแลนต์ ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วย กระบวนการ MIAF.....	59
3.11	ตัวแปรการศึกษาจลนศาสตร์ และความเข้มข้นของสารโคเอกกูแลนต์ที่ เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการMIAF.....	61

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางสรุปค่าของลักษณะสมบัติของตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด.....	65
4.2 ตารางสรุปผลศึกษาจลนศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ด้วยกระบวนการ IAF.....	72
4.3 ตารางสรุปผลการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับ SDS ด้วยสารส้มและเพอร์ริกคลอไรด์.....	76
4.4 ตารางสรุปการศึกษาค่า pH ที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์.....	81
4.5 ตารางสรุปผลการศึกษาผลกระทบของเกลือที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด.....	87
4.6 ตารางสรุปผลการศึกษาผลกระทบของโพลีเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด.....	93
4.7 ตารางแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด และค่าความเร็วแกรเดียนท์ (G) ระหว่างกระบวนการ MIAF ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาการบำบัด 30 นาที กับวิธีจาร์เทสต์สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS.....	97
4.8 ตารางแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด และค่าความเร็วแกรเดียนท์ (G) ระหว่างกระบวนการ MIAF และวิธีจาร์เทสต์ สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน CTAB.....	99
4.9 ตารางแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด และค่าความเร็วแกรเดียนท์ (G) ระหว่างกระบวนการ MIAF และวิธีจาร์เทสต์สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20.....	101
4.10 ตารางสรุปผลของค่า n, log k และประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ MIAF.....	112

ตารางที่	หน้า
4.11 ตารางการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการ MIAF จากการทดลองกับประสิทธิภาพของกระบวนการ MIAF จากการคำนวณ.....	114
4.12 ตารางสรุปค่าคงที่จากสมการเส้นตรงที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการบำบัดกับสัดส่วน a/G ของกระบวนการ IAF และ MIAF.....	123
5.1 ตารางผลศึกษาการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB โดยใช้ SDS เป็นช่วยตกตะกอนในกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	129
5.2 ตารางผลศึกษาการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 โดยใช้ SDS เป็นสารช่วยตกตะกอนในกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	130
5.3 ผลการศึกษาการใช้สารช่วยตกตะกอนในกระบวนการ MIAF ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 และ CTAB.....	131

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การลดลงของค่า Interfacial tensions เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น.....	6
2.2	การละลายของสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคน้ำมัน.....	6
2.3	การผลึกกันของอนุภาคน้ำมันเนื่องจากประจุไฟฟ้าบนพื้นผิว.....	6
2.4	การลอยของหยดน้ำมันเหนือผิวน้ำในรูปของฟิล์ม.....	7
2.5	โครงสร้างของ Anionic surfactants.....	10
2.6	โครงสร้างของ Cationic surfactant.....	11
2.7	โครงสร้างของ Nonionic surfactant.....	11
2.8	โครงสร้างของ Amphoteric surfactant.....	12
2.9	โมเดลที่ใช้ในการอธิบาย Electric Double Layer Theory .....	13
2.10	ผลของการเติมอิออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์(ก) ก่อนเติมอิออน(ข) หลังเติมอิออน.....	14
2.11	การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนต์ ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ด้วยกลไกแบบต่างๆ.....	15
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มและค่าพีเอช.....	19
2.13	กลไกในการสร้างโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม.....	19
2.14	ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม.....	20
2.15	ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยฟลูออไรด์... ..	22
2.16	แสดงตัวอย่างและระบบการทำงานของกระบวนการ DAF.....	25
2.17	หัวเติมอากาศแบบ Fine bubble.....	26
2.18	หัวเติมอากาศแบบ Coarse bubble.....	26
2.19	หัวเติมอากาศแบบ Plate diffusers.....	27
2.20	หัวเติมอากาศแบบ Tube diffusers.....	27
2.21	หัวเติมอากาศแบบ Dome diffuser.....	27
2.22	หัวเติมอากาศแบบ Jet aerator.....	28
2.23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่ของฟองอากาศกับขนาดของฟองอากาศ.....	31

ภาพที่	หน้า
2.24	การเคลื่อนที่ของหยดน้ำ ามันและฟองอากาศ..... 31
2.25	แสดงลักษณะการชนและเกาะติด ระหว่างฟองอากาศกับหยดน้ำ ามัน..... 31
2.26	การเกาะติดระหว่างฟองอากาศกับหยดน้ำ ามัน..... 31
2.27	ผลการศึกษาการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามัน..... 35
3.1	วิธีการต่อชุดการทดลองการทำให้ลอย..... 42
3.2	อุปกรณ์สร้างฟองอากาศ..... 42
3.3	แผนผังแสดงสรุปขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย..... 48
3.4	การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย..... 49
3.5	การเตรียมน้ำ เสียตัวอย่าง..... 48
3.6	แผนผังแสดงการทดลองศึกษามลของอัตราการไหล และเวลาในการเติมอากาศ ในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการAF..... 51
3.7	แผนผังแสดงการทดลองศึกษามลของเวลา ที่เหมาะสมในการเติมอากาศในการ ทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการAF..... 52
3.8	แผนผังแสดงการทดลองศึกษามลของค่าพีเอช ที่มีความเหมาะสมกับ สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์..... 54
3.9	แผนผังแสดงการทดลองศึกษามลของปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามัน..... 55
3.10	แผนผังแสดงการทดลองศึกษามลกระทบของปริมาณเกลือ (NaCl) ที่มีผลต่อ ปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์สำหรับการบำบัด..... 57
3.11	แผนผังแสดงการทดลองศึกษามลกระทบของปริมาณโพลีเมอร์ ที่มีผลต่อ ปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์สำหรับการบำบัด..... 58
3.12	แผนผังแสดงการทดลองศึกษามลของอัตราการไหลอากาศ เวลาในการทำให้ ลอย และความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ ในการทำลายเสถียรภาพของหยด น้ำ ามันด้วยกระบวนการMIAF..... 60
3.13	แผนผังแสดงการทดลองศึกษามลของเวลา ที่เหมาะสมในการทำให้ลอย และ ความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ ในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามัน ด้วยกระบวนการ MIAF..... 61
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับปริมาณสารลดแรงตึงผิว3 ชนิด..... 62

ภาพที่	หน้า
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวกับขนาดหยดน้ำ น้ำมันในตัวอย่งน้ำ เสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด.....	64
4.3 รูปของหยดน้ำ น้ำมันถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย60 เท่าในตัวอย่งน้ำ เสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดSDS, CTAB และ Tween 20 ในภาพ ก ข และ ค ตามลำดับ.....	65
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดตัวอย่งน้ำ เสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS กับเวลาการบำบัดที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ.....	66
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดตัวอย่งน้ำ เสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB กับเวลาการบำบัดที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ.....	68
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดตัวอย่งน้ำ เสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 กับเวลาการบำบัดที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ.	69
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD กับเวลาการบำบัดตัวอย่งน้ำ เสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ชนิด ที่อัตราการไหลอากาศ0.3 ลิตรต่อนาที...	70
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับค่า pH เริ่มต้นในการบำบัดตัวอย่งน้ำ เสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวSDS ด้วยสารส้ม และเพอร์ริคคลอไรด์.....	74
4.9 แสดงตัวอย่างลักษณะฟล็อกของสารส้ม และเพริกคลอไรด์ ดังภาพ ก และ ข ตามลำดับในวิธีจาร์เทสต์.....	75
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับความเข้มข้นสารส้ม และเพริกคลอไรด์.....	76
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับค่า pH เริ่มต้นในการบำบัดตัวอย่งน้ำ เสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวCTEB ด้วยสารส้ม และเพอร์ริคคลอไรด์.....	77
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับค่า pH เริ่มต้นในการบำบัดตัวอย่งน้ำ เสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวTween 20 ด้วยสารส้ม และเพอร์ริคคลอไรด์.....	79
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการบำบัดในกรณีทีเติมเกลือต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณเกลือ ในการบำบัดตัวอย่งน้ำ เสียปนเปื้อนSDS ทีความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ต่างๆ.....	83



ภาพที่	หน้า
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมเกลือต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณเกลือ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวCTAB ที่ความเข้มข้นสารโคเอกกูแลนท์ 0.4 กรัม/ลิตร.....	85
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมเกลือต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณเกลือ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ที่ความเข้มข้นสารโคเอกกูแลนท์ 0.4 กรัม/ลิตร.....	86
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมโพลีเมอร์ต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณโพลีเมอร์ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวSDS ที่ความเข้มข้นสารโคเอกกูแลนท์ต่างๆ.....	85
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมโพลีเมอร์ต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณโพลีเมอร์ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวCTAB ที่ความเข้มข้นสารโคเอกกูแลนท์ 0.4 กรัม/ลิตร.....	90
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมโพลีเมอร์ต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณโพลีเมอร์ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวTween 20 ที่ความเข้มข้นสารโคเอกกูแลนท์ 0.4 กรัม/ลิตร.....	92
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับเวลาการบำบัด ที่อัตราการไหลอากาศต่างๆในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยเฟอริกคลอไรด์ และสารส้ม 0.2 กรัม/ลิตร.....	94
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับเวลาการบำบัด ที่อัตราการไหลอากาศต่างๆในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยเฟอริกคลอไรด์ และสารส้ม 0.4 กรัม/ลิตร.....	95
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับเวลาการบำบัด ที่อัตราการไหลอากาศต่างๆในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยเฟอริกคลอไรด์ และสารส้ม 0.8 กรัม/ลิตร.....	95

ภาพที่	หน้า
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับเวลาการบำบัด ที่อัตราการไหลอากาศต่างๆในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ด้วยเฟอริกคลอไรด์ และสารส้ม 0.4 กรัม/ลิตร.. 98
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับเวลาการบำบัด ที่อัตราการไหลอากาศต่างๆในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยเฟอริกคลอไรด์ และสารส้ม 0.4 กรัม/ลิตร..... 100
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าCOD กับเวลาการบำบัด ที่ความเข้มข้นโคแอกกูแลนต์ต่างๆในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตร/นาที่..... 102
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD กับเวลาการบำบัด ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTEB และ Tween 20 ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตร/นาที่..... 104
4.26	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าCOD กับระยะเวลาการบำบัดด้วยกลไกของกระบวนการต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม..... 105
4.27	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าCOD กับระยะเวลาการบำบัดด้วยกลไกของกระบวนการต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยเฟอริกคลอไรด์..... 106
4.28	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าCOD กับระยะเวลาการบำบัดด้วยกลไกของกระบวนการต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB..... 106
4.29	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าCOD กับระยะเวลาการบำบัดด้วยกลไกของกระบวนการต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20..... 107
4.30	ตัวอย่างการหาค่า $\left(-\frac{dC}{dt}\right)$ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ของกระบวนการ IAF ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตร/นาที่..... 108

ภาพที่	หน้า
4.31 ตัวอย่างการหาค่า $n$ และค่า $\log k$ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ IAF ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตร/นาที่.....	108
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $n$ กับปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS.....	109
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $n$ กับปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20...	110
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log k$ กับปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS.....	110
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log k$ กับปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20.....	111
4.36 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัดจากการคำนวณ กับเปอร์เซ็นต์การบำบัดจากการทดลอง ในกระบวนการ MIAF.....	113
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟองอากาศกับอัตราการไหลอากาศ ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดในกระบวนการ IAF.....	115
4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟองอากาศ กับอัตราการไหลอากาศที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ต่างๆ ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF.....	116
4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟองอากาศกับอัตราการไหลอากาศ ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ 0.4 กรัม/ลิตร ด้วยกระบวนการ MIAF.....	116
4.40 ลักษณะฟองอากาศที่อัตราการไหลอากาศ 0.025(ก), 0.3(ข) และ 0.7(ค) ลิตร/นาที่ ตามลำดับในกระบวนการ IAF และ MIAF.....	117
4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $n$ ที่ผิวสัมผัสจำเพาะกับอัตราการไหลอากาศ ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด ด้วยกระบวนการ IAF.....	118

ภาพที่	หน้า
4.42	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอ็นที่ผิวสัมผัสจำเพาะกับอัตราการไหลอากาศที่ความเข้มข้นสารโคเอกกูแลนท์ต่างๆ ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF..... 118
4.43	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอ็นที่ผิวสัมผัสจำเพาะกับอัตราการไหลอากาศที่ความเข้มข้นสารโคเอกกูแลนท์ต่างๆ ในตัวอย่างน้ำ เสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween20 ด้วยกระบวนการ MIAF..... 119
4.44	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าG กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ IAF และ MIAF..... 120
4.45	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าa/G กับอัตราการไหลอากาศ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำ เสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ด้วยกระบวนการ IAF..... 121
4.46	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a/G กับอัตราการไหลอากาศ ที่ความเข้มข้นสารโคเอกกูแลนท์ต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำ เสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF..... 122
4.47	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a/G กับอัตราการไหลของอากาศ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำ เสียปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 เข้มข้นสารโคเอกกูแลนท์ 0.4 กรัม/ลิตร ด้วยกระบวนการ MIAF..... 122
5.1	ลักษณะฟล็อกจากการใช้สารช่วยตกตะกอนในตัวอย่างน้ำ เสียปนเปื้อนCTAB ที่ความเข้มข้น 0.4 (ก) และ 0.8 (ข) กรัมต่อลิตร..... 131

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาด้านน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน (Oily wastewater) ที่พบมากในปัจจุบันมีสาเหตุหลักมาจากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม เช่น กระบวนการผลิตน้ำมันพืช เช่น ปาล์ม ถั่วเหลือง ฯลฯ อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและอุตสาหกรรมอาหาร ล้วนเป็นสาเหตุของการเกิดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในหลายรูปแบบ ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนจะเกิดการนำน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเนื่องจากการใช้น้ำมันหล่อลื่น และน้ำหล่อเย็นในกระบวนการผลิตโดยจะมีปริมาณน้ำมันปนเปื้อนอยู่ในช่วง 100-5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันพืชการปนเปื้อนของน้ำมันจะเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต โดยจะมีปริมาณน้ำมันปนเปื้อนอยู่ในช่วง 4,000-6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าซีโอดี (COD) อยู่ในช่วง 40,000-60,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ahmad, Sumathi และ Hameed, 2006) โดยลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปของอิมัลชัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากสารลดแรงตึงผิวที่มีการปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย เช่น Glycolipid และ Phospholipids ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ในรูปของกรดไขมันที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และสารลดแรงตึงผิวจากการสังเคราะห์ เช่น Sodium Dodecyl Sulphate (SDS), Polysorbate 20 (Tween 20) และ Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB) สารลดแรงตึงผิวจะทำให้หยดน้ำมันในน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันมีเสถียรภาพและยากต่อการบำบัดด้วยกระบวนการตกตะกอน และกระบวนการกรอง โดยเสถียรภาพของหยดน้ำมันที่เกิดขึ้นนี้ทำให้กระบวนการตกตะกอนต้องใช้ระยะเวลาในการบำบัดนาน 24-26 ชั่วโมง รวมไปถึงการเกิดสภาพการอุดตันของตัวกรองซึ่งเป็นการปัญหาที่สำคัญสำหรับการบำบัด (Deng และคณะ, 2005)

การทำให้ลอยตัว (Flotation) เป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมสำหรับการประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันที่หยดน้ำมันมีเสถียรภาพ (Da Rosa และ Rubio, 2005) และ (Meysami และ Kasaeian, 2005) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่อาศัยความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของฟองอากาศกับน้ำมันที่หยดน้ำมันเกิดการเกาะติดกับฟองอากาศและขนาดของหยดน้ำมันที่เพิ่มขึ้น เมื่อเกิดการชนและรวมตัวของหยดน้ำมันในขณะทำการเติมอากาศ ซึ่งส่งผลดีต่อการเพิ่มความเร็วในการแยกตามสมการสโตค (Stoke's law) กระบวนการทำให้ลอยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การทำให้ลอยตัวด้วยอากาศอัดละลาย (Dissolved Air Flotation, DAF) และอินดิวิจัวร์แอโรฟเลชัน (Induced Air Flotation, IAF) กระบวนการ DAF เป็นกระบวนการ

ที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัด แต่มีข้อเสียที่เป็นระบบที่มีขนาดใหญ่และยากต่อการประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อื่นๆ ส่วนกระบวนการ IAF ข้อดีคือระบบมีขนาดเล็ก สามารถนำประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อื่นๆได้อย่างหลากหลายเพื่อใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการบำบัด (Jameson, 1999)

งานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียซึ่งเคราะห์มีการปนเปื้อนของน้ำมัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) กระบวนการ IAF และกระบวนการทำให้ลอยร่วมกับกระบวนการโคแอกกูเลชันหรือเรียกว่าโมดิฟายอินดิวิจแอริฟเลชัน (Modified Induced Air Flotation, MIAF) โดยในส่วนของกระบวนการโคแอกกูเลชันปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าพีเอช ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ ปริมาณเกลือ และปริมาณโพลีเมอร์ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดสำหรับกระบวนการ IAF ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราการไหลอากาศ ระยะเวลาในการเติมอากาศ และในส่วนของกระบวนการ MIAF ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราการไหลอากาศ ระยะเวลาการบำบัด และปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ (Coagulant) เพื่อทำการศึกษหาสภาวะที่มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการบำบัด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อทำการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันในรูปอิมัลชันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันอินดิวิจแอริฟเลชัน (IAF) และโมดิฟายอินดิวิจแอริฟเลชัน (MIAF) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้กระบวนการ IAF ร่วมกับกระบวนการโคแอกกูเลชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

1.2.2 เพื่อทำการศึกษาลักษณะทางด้านอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศ (Bubble Hydrodynamic parameters) ในด้านพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ (Interfacial area,  $a$ ) และความสามารถในการกวนผสม (Mixing capacity) ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดในกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF

1.2.3 เพื่อนำเสนอสมการเพื่อทำนายค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยการประยุกต์ใช้ ค่าอันดับปฏิกิริยา ( $n$ ) ค่าคงที่ปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ที่ได้จากปฏิกิริยาเคมี และความสัมพันธ์ของตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศ

## 1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการวิจัยระบบห้องปฏิบัติการที่ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำให้ลอยด้วยการประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Modified Induced Air Flotation, MIAF) โดยมีขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

1.5.1 ทำการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นน้ำมัลล์ 5 กรัมต่อลิตร ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด Sodium Dodecyl Sulphate (Anionic surfactant), Polysorbate 20 (Nonionic surfactant) และ Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (Cationic surfactant) โดยใช้ค่าความเข้มข้นที่ Critical Micelle Concentration (CMC) ในตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์

1.3.2 ทำการทดลองหาสภาวะที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดด้วยกระบวนการ IAF โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่

- อัตราการไหลอากาศ ทำการศึกษาในช่วง 0.025-0.7 ลิตรต่อนาที
- ระยะเวลาในการทำให้ลอย ทำการศึกษาในช่วง 0-80 นาที
- ขนาดของฟองอากาศ ทำการศึกษาในช่วงอัตราการไหลอากาศ 0.025-0.7 ลิตรต่อนาที

1.3.3 ทำการทดลองหาสภาวะที่มีความเหมาะสมในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยวิธีจาร์เจสต์ โดยใช้เฟอริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) และอะลูมิเนียมซัลเฟต ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) สำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่

- ค่าพีเอช เริ่มต้นทำการศึกษาในช่วง 2-12
- ค่าความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์ ที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนี้ มันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวในรูปอิมัลชันทำการศึกษาในช่วง 0-1.6 กรัมต่อลิตร
- ผลกระทบของเกลือ ที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ ทำการศึกษาในช่วง 0.001-1 กรัมต่อลิตร
- ผลกระทบของโคแอกกูแลนต์เอ็ด ที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ ทำการศึกษาในช่วง 2.5-50 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.4 ทำการทดลองหาสภาวะที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดด้วยกระบวนการ MIAF โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่

- อัตราการไหลอากาศ ทำการศึกษาในช่วง 0.025-0.7 ลิตรต่อนาที
- ระยะเวลาในการทำให้ลอย ทำการศึกษาในช่วง 0-80 นาที
- ขนาดของฟองอากาศ ทำการศึกษาในช่วงอัตราการไหลอากาศ 0.025-0.7 ลิตรต่อนาที
- ค่าความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ ที่เหมาะสมต่อกระบวนการ MIAF ทำการศึกษาในช่วง 0.2-0.8 กรัมต่อลิตร

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว โดยการประยุกต์ใช้สารโคแอกกูแลนต์ร่วมกับกระบวนการ IAF (MIAF)

1.6.2 ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมันในรูปอิมัลชันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ด้วยกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF

1.6.3 สร้างความเข้าใจถึงกลไกและลักษณะทางด้านอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศ ได้แก่ ขนาดฟองอากาศ ( $D_B$ ) ความถี่ในการเกิดฟองอากาศ ( $f_B$ ) และพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะของฟองอากาศ ( $a$ ) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด เพื่อสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาสร้างสมการในการทำนายประสิทธิภาพการบำบัดได้

1.6.4 ทราบถึงแนวทางในการนำกระบวนการ IAF และ MIAF ไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียร่วมกับกระบวนการอื่น เช่น กระบวนการแยกโดยอาศัยตัวกลาง (Coalescer) กระบวนการแยกโดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลาง (Hydrocyclone) และกระบวนการกรอง (filtration) เป็นต้น



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมัน

น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันสามารถแบ่งได้ รูปแบบคือ (Aurelle, 1985)

##### 2.1.1 น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ละลายน้ำ

ความสามารถในการละลายน้ำ (Solubility) และความสามารถในการระเหย (Volatility) ของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง เพราะฉะนั้นน้ำมัน (light oil) จึงมีความสามารถในการละลายน้ำ และระเหยได้ดีกว่าน้ำมันหนัก (Heavy oil) และความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นตามความไม่อิ่มตัว (Unsaturation) และลักษณะขั้ว (Polarity) ที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะน้ำมันที่อยู่ในรูปของสารประกอบ Cyclic compound เป็นรูปของสารประกอบที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้สูงสุดปัญหาของน้ำมันที่ละลายน้ำคือตรวจสอบได้ยากด้วยสายตา

##### 2.1.2 น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสม

สาเหตุเกิดจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความปั่นป่วน (Turbulence) เช่น เครื่องสูบน้ำ วาล์ว ใบพัด จุดเปลี่ยนขนาดของท่อ ฯลฯ จากกระบวนการอุตสาหกรรม ทำให้เกิดการกระจายของน้ำมันในน้ำ จนเกิดเป็นอิมัลชันที่มีหยดน้ำมันขนาดเล็ก โดยพลังงานที่ทำให้เกิดการปั่นป่วน และแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำ (Oil-water interfacial tension) ที่มีผลต่อขนาดของหยดน้ำมันสามารถทำนายการแพร่กระจายของน้ำมันได้จากสมการที่ 2.1

$$W_A = A_{ow} \times \gamma_{ow} \quad (2.1)$$

$$W_A = \text{พลังงานที่ใช้ (นิวตัน.ม./วินาที)}$$

$$A_{ow} = \text{พื้นที่ผิวสัมผัส (ม.}^2\text{)}$$

$$\gamma_{ow} = \text{แรงตึงผิว (นิวตัน.ม.)}$$

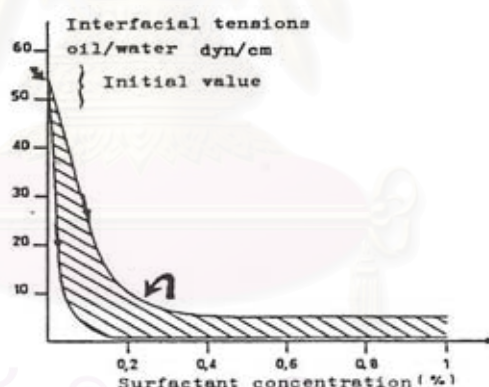
พบว่าค่า  $A_{ow}$  จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า  $\gamma_{ow}$  มีค่าลดลงส่งผลทำให้เกิดการกระจายของน้ำมันสูงขึ้น แต่เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเพียงชั่วคราวเมื่อหยุดเขย่าหยดน้ำมันจะพยายามกลับมารวมตัวแล้วแยกชั้นดังเดิม

### 2.1.3 น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสม

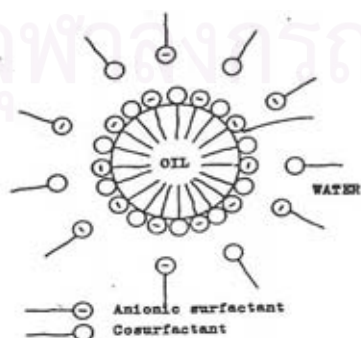
ในน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันที่มีสารลดแรงตึงผิวผสมอยู่ส่งผลทำให้แรงตึงผิว (Surface tension) ระหว่างน้ำมันกับน้ำลดลงและแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำจะลดลงมากขึ้นเมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 2.1) ถ้าใช้พลังงานทำให้เกิดการปั่นป่วนเท่ากับสภาวะที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว จะพบว่าในกรณีนี้จะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับหยดน้ำมันเพิ่มมากขึ้น ขนาดของหยดน้ำมันมีขนาดเล็กมากกว่าสภาวะที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสม โดยขนาดของอนุภาคน้ำมันในน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันมีสารลดแรงตึงผิวผสมสามารถทำการแบ่งได้ 3 ระดับคือ

- Primary emulsion มีขนาดของหยดน้ำมันมากกว่า 100 ไมโครเมตร
- Secondary emulsion มีขนาดของหยดน้ำมันน้อยกว่า 20 ไมโครเมตร
- Microemulsions มีขนาดของหยดน้ำมันอยู่ระหว่าง 100 ถึง 600 อังสตรอม

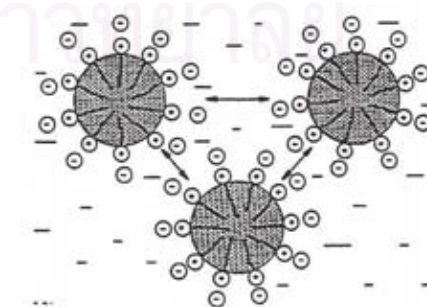
โดยส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) ของสารลดแรงตึงผิวทำให้มีประจุไฟฟ้าที่ผิวของหยดน้ำมันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการขัดขวางการชน และรวมตัวของอนุภาคน้ำมันระหว่างการเคลื่อนที่ เป็นผลให้มีความเสถียรของหยดน้ำมันเพิ่มขึ้น และยากต่อการบำบัดด้วยวิธีทั่วไป (ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3)



รูปที่ 2.1 การลดลงของค่า Interfacial tensions เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น (Aurelle, 1998)



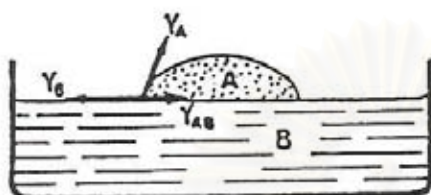
รูปที่ 2.2 การละลายของสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคน้ำมัน (Aurelle, 1985)



รูปที่ 2.3 การปลุกกันของอนุภาคน้ำมัน เนื่องจากประจุไฟฟ้าบนพื้นผิว (Aurelle, 1985)

### 2.1.4 น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ละลายในผิวหน้า

เนื่องจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ น้ำมันจึงลอยอยู่บนผิวหน้า เป็นฟองหรือเป็นฟิล์มมักเป็นโมเลกุลเดี่ยวโดยเฉพาะน้ำมันที่มีความหนืดต่ำปัญหาของน้ำมันชนิดนี้ พบว่าปริมาณน้ำมันเพียงเล็กน้อย จะมีประสิทธิภาพทำให้เกิดพื้นที่ผิวของฟิล์มขนาดใหญ่ และแพร่กระจายเป็นวงกว้างได้ (ดังรูปที่ 2.4) ซึ่งทำให้เกิดการขวางกั้นการละลายของก๊าซออกซิเจนสู่น้ำได้



$\gamma_{AB}$  = Interfacial tension A/B

$\gamma_A$  = Surface tension A

$\gamma_B$  = Surface tension B

รูปที่ 2.4 การลอยของหยดน้ำมันเหนือผิวน้ำในรูปของฟิล์ม(Aurelle, 1985)

การแพร่กระจายของหยดน้ำมัน A บนพื้นผิวของของเหลว B จะเกิดขึ้นได้เมื่อมุมสัมผัส(Contact angle) มีค่าน้อยกว่า  $90^\circ$  แสดงได้ดังสมการที่ 2.2

$$\gamma_B \geq \gamma_{AB} + \gamma_A \quad (\text{Young's equation}) \quad (2.2)$$

## 2.2 ลักษณะโดยทั่วไปของการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมัน

### 2.2.1 น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ละลายน้ำ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันรูปที่ละลายน้ำมีวิธีการบำบัดดังตารางที่ 2.1 ตารางที่ 2.1 แสดงวิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ละลายน้ำ

วิธีการบำบัด	หลักการ
1. Stripping	เปลี่ยนจากน้ำมันที่ปนเปื้อนในรูปของเหลวให้อยู่ในรูปก๊าซ
2. Adsorption	เปลี่ยนจากน้ำมันที่ปนเปื้อนรูปของเหลว ให้ถูกดูดซับบนผิวอนุภาคของแข็ง เช่น activated carbon
3. Biological treatment	น้ำมันที่ปนเปื้อนจะถูกย่อยสลายทางชีวภาพ เช่น Activated sludge, Tricking filter และ Biological disks

### 2.2.2 น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสม

กระบวนการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสม มีวิธีการบำบัด แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงวิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปแบบอิมัลชันและไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสม

วิธีการบำบัด	หลักการ
1. Decantation	ทำให้เกิดการแยกชั้น ระหว่างน้ำ กากัน น้ำมัน โดยอาศัยความแตกต่างระหว่างความหนาแน่น
2. Coalescence	การทำให้อนุภาคน้ำมันเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง เพื่อเพิ่มการรวมตัวของอนุภาคน้ำมัน
3. Flotation	ทำให้เกิดการแยกชั้น ระหว่างน้ำ กากัน น้ำมัน โดยอาศัยฟองอากาศจับตัวกับหยดน้ำมันเป็นตัวเพิ่มความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของน้ำกับน้ำมัน
4. Centrifugation process	ทำให้เกิดการแยกชั้น ระหว่างน้ำ กากัน น้ำมัน โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางในการเพิ่มความเร็วในการแยกชั้น ระหว่างน้ำ กากัน น้ำมัน
5. Thermal process	ทำให้เกิดการแยกชั้น ระหว่างน้ำ กากัน น้ำมัน โดยอาศัยความร้อนในการลดความหนืดของของเหลวทำให้เกิดการแยกชั้น ระหว่างน้ำ กากัน น้ำมันได้อย่างรวดเร็ว

### 2.2.3 น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปแบบอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสม

น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปแบบอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสม เป็นน้ำเสียที่ยากต่อการบำบัดด้วยวิธีตามปกติ เช่น การแยกชั้น (Decantation) การทำลายความเป็นอิมัลชันโดยอาศัยตัวกลาง (Coalescer) หรือ การบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวเป็นตัวที่ทำให้ผิวของอนุภาคน้ำมันติดประจุทางไฟฟ้าเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคขัดขวางการชนและการรวมตัวของอนุภาคน้ำมัน ดังนั้น ก่อนการบำบัดน้ำเสียที่การปนเปื้อนของสารลดแรงตึงผิว จึงต้องมีการทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ประจุไฟฟ้าบนอนุภาคน้ำมันก่อนทำการบำบัดด้วยวิธีตามปกติ วิธีการทำลายเสถียรภาพ ประกอบด้วย

1. Mineral acid เป็นการใช้กรดแก่ในการทำลายความเสถียรของหยดน้ำมัน
 
$$\text{RCOO}^- \text{Na}^+ + \text{HCl} \longrightarrow \text{RCOOH} + \text{Na}^+ \text{Cl}^- \quad (2.3)$$
2. Polyelectrolyte เป็นการใส่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีประจุทางไฟฟ้าแบ่งได้ 3 ชนิด Cationic Polyelectrolytes, Nonionic, Polyelectrolytes และ Anionic Polyelectrolytes

3. Salts เป็นการใช้เกลือเพื่อเพิ่มไอออนในน้ำ ซึ่งผลต่อการลดลงของประจุบนผิวของหยดน้ำมัน เกลือที่ใช้เช่น Sodium chloride, Magnesium Chloride, Calcium chloride, Aluminium chloride และ Iron chloride

โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปแบบที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสมมีวิธีการบำบัด แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงวิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปแบบที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสม หลังจากการทำลายเสถียรภาพ

วิธีการบำบัด	หลักการ
1. Thermal process	ทำให้เกิดการแยกชั้น ระหว่างน้ำ กับ น้ำมัน โดยอาศัยความร้อนในการลดความหนืดของของเหลวทำให้เกิดการแยกชั้น ระหว่างน้ำ กับ น้ำมันได้อย่างรวดเร็ว
2. Flocculation-Flotation Process	เติมสารเคมีเพื่อให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคน้ำมันกับฟล็อก และทำการแยกฟล็อกออกด้วยการทำให้ลอย
3. Centrifugation separators	ทำให้เกิดการแยกชั้น ระหว่างน้ำ กับ น้ำมัน โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางในการเพิ่มความเร็วในการแยกชั้น ระหว่างน้ำ กับ น้ำมัน(ยกเว้น Microemulsions)
4. Coalescence	การทำให้อนุภาคน้ำมันเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง เพื่อเพิ่มการรวมตัวของอนุภาคน้ำมัน

#### 2.2.4 น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปแบบที่ลอยบนผิวน้ำ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปแบบที่ลอยบนผิวน้ำมีวิธีการบำบัด ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงวิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปแบบที่ลอยบนผิวน้ำ

วิธีการบำบัด	หลักการ
1. Dispersion process	ใช้สารลดแรงตึงผิวเพื่อให้เกิดการกระจายตัวของน้ำมันที่ผิวน้ำ
2. Pumping process	สูบน้ำมันที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำออกไปทำการบำบัด
3. Adsorption process	เปลี่ยนจากน้ำมันที่ปนเปื้อนรูปของเหลว ให้ถูกดูดซับบนผิวอนุภาคของแข็ง เช่น Activated carbon
4. Skimming	ใช้อุปกรณ์กวาดน้ำมันที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำออกไปทำการบำบัด

## 2.3 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ คำว่า Surfactant มาจากคำว่า Surface active agent มีคุณลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวที่เป็น Hydrophilic (ชอบน้ำ) และส่วนหางที่เป็น Hydrophobic (ไม่ชอบน้ำ แต่ชอบน้ำมัน)



หลักการการทำงานของสารลดแรงตึงผิวคือส่วนที่ชอบน้ำ จะทำการจับน้ำ และส่วนที่ชอบน้ำมัน จะทำการจับสิ่งสกปรกพวกไขมันที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกไปแล้วแขวนลอยอยู่ในน้ำ ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดกลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของทุกคนรอบครัวไม่ว่าจะเป็นของใช้ส่วนตัวเช่น สบู่ ยาสระผม ฯลฯ หรือจะเป็นของใช้ในครัวเรือน เช่น ผงซักฟอก น้ำยาทำความสะอาดพื้น น้ำยาล้างจาน เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่กล่าวถึงเหล่านี้ ล้วนมีสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบทั้งสิ้น สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม ขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ (Hydrophilic) โดยสามารถแยกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ Anionic surfactant, Nonionic surfactant, Cationic surfactant และ Amphoteric surfactant (Zwitterionics)

### 2.3.1 Anionic surfactant

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน Hydrophilic ให้ประจุลบส่วนมากแสดงอยู่ในรูป Carboxylate, Sulfate, Sulfonate หรือ Phosphate สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภท ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด น้ำยาล้างจาน เป็นต้น โดยใช้มากถึง 49% ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมดเนื่องจากสามารถใช้ขจัดคราบสกปรกได้ดีตัวอย่าง เช่น Sodium laurylsulfate (SLS) หรือ (SDS) ดังรูปที่ 2.5



Sodium laurylsulfate (SLS) หรือ (SDS)

มีสูตรโครงสร้าง  $\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$  น้ำหนักโมเลกุล 288.8 กรัมต่อโมล

รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ Anionic surfactants

### 2.3.2 Cationic surfactant

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน Hydrophilic ให้ประจุบวก ส่วนมากมักจะเป็นพวก Quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10 -11) เนื่องจาก Ammonium salt จะมีการสูญเสียประจุบวกทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สารลดแรงตึงผิวประเภท Cationic จะทำให้เกิดการระคายเคืองน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภท Anionic จึงนิยมใช้ในการทำนํ้ายาปรับผ้านุ่มครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับการจัดแต่งทรงผม เป็นต้น ตัวอย่างเช่น Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) ดังรูปที่ 2.6



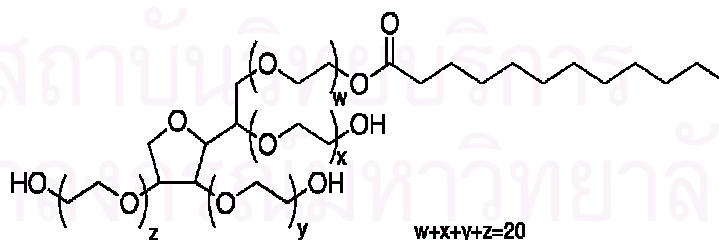
Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB)

มีสูตรโครงสร้าง  $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3^+ Br^-$  น้ำหนักโมเลกุล 364.45 กรัมต่อโมล

รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ Cationic surfactant

### 2.3.3 Nonionic surfactant

สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ จะต่างจากสารลดแรงตึงผิวประเภท Anionic และ Cationic ตรงที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยมีพวก Polyether หรือ Polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ใช้มากในผงซักฟอก นํ้ายาล้างจาน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว เป็นต้น ตัวอย่างเช่น Polysorbate 20 (Tween 20) ดังรูปที่ 2.7



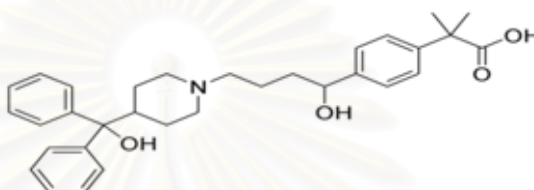
Polysorbate 20 (Tween 20)

มีสูตรโครงสร้าง  $C_{58}H_{114}O_{26}$  น้ำหนักโมเลกุล 1227.54 กรัมต่อโมล

รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ Nonionic surfactant

### 2.3.4 Amphoteric surfactant หรือ Zwitterions

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน Hydrophilic สามารถใช้ได้ทั้งประจุบวกและลบ โดยจะแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรดต่างของสภาวะแวดล้อม ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่าง (pH>7) ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic จะให้ประจุลบ ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นกรด (pH<7) ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic จะให้ประจุบวก และในสภาวะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิว ในปัจจุบันยังใช้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น ตัวอย่างเช่น 2-[4-[1-hydroxy-4-[4-(hydroxy-diphenyl- methyl)-1-piperidyl] butyl] phenyl]-2- methyl-propanoic acid ดังรูปที่ 2.8



2-[4-[1-hydroxy-4-[4-(hydroxy-diphenyl- methyl)-1-piperidyl] butyl] phenyl]-2- methyl-propanoic acid

มีสูตรโครงสร้าง  $C_{32}H_{39}NO_4$  น้ำหนักโมเลกุล 501.656 กรัมต่อโมล

รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ Amphoteric surfactant

จากผลของการใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในทุกปีทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากน้ำที่มาจากครัวเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมล้วนมีสารลดแรงตึงผิวจากผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดด้วยกันทั้งสิ้น ผลกระทบที่เกิดจากการที่สารลดแรงตึงผิว เช่น SDS จะไปล้อมจับพื้นผิวสารอินทรีย์ต่างๆที่มีในแหล่งน้ำ และเมื่อมีความเข้มข้นมากขึ้น จะทำให้กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพเกิดการหยุดชะงัก

## 2.4 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกคูเลชัน (Flocculation)

### 2.4.1 อนุภาคคอลลอยด์

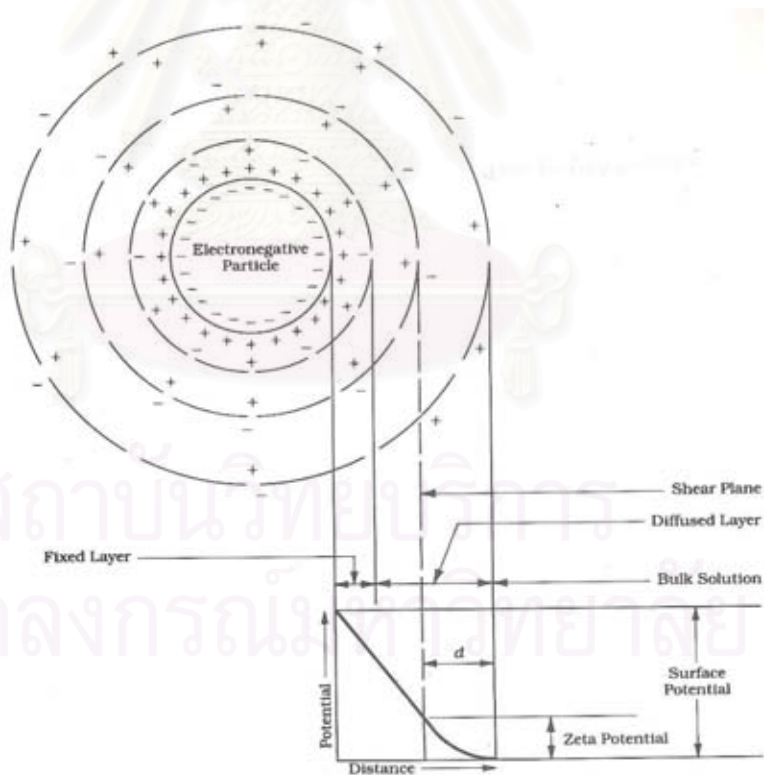
อนุภาคขนาดเล็กซึ่งเรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์โดยทั่วไปมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง  $10^{-6}$  จนถึง  $10^{-3}$  มม. เนื่องจากมีขนาดเล็กจึงไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองในเวลาจำกัด นอกจากนี้อนุภาคคอลลอยด์เมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุประจำตัว โดยพวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมีประจุบวก เช่น สารอินทรีย์ สบู่ หรือ สารจำพวกสารลดแรงตึงผิว ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มักจะมีประจุเป็นลบ เช่น หยดน้ำ ไขมันและเนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันเกิดแรงผลักรันระหว่างอนุภาคส่งผลทำให้อนุภาคเหล่านั้นมี



ความเสถียรภาพสูง ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่างๆรวมตัวกันและจับกันเป็นกลุ่มก้อน โดยมีชั้นนตอน 2 ชั้น นตอนคือ(มันลิน, 2537)

#### 2.4.2 การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization)

เสถียรภาพของหยดน้ำ ามันเป็นผลมาจากแรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันบนหยดน้ำ ามันสามารถอธิบายคุณสมบัติทางไฟฟ้าของหยดน้ำ ามันโดยใช้ทฤษฎี Electric Double Layer Theory โดยอิออนประจุลบบนหยดน้ำ ามันสร้างแรงดึงดูดที่ทำให้ อิออนประจุบวกมาแออัดอยู่ที่ใกล้ผิวหยดน้ำ ามัน(ดังรูปที่ 2.9) อิออนบวกนี้ เรียกว่าCounter Ion ความหนาแน่นของอิออนประจุบวกจะสูงที่สุดอยู่ในบริเวณที่อยู่ติดกับหยดน้ำ ามันและลดลงไปตามระยะห่างจากหยดน้ำ ามัน ทั้งนี้ เป็นไปตามศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุลบของหยดน้ำ ามันซึ่งมีค่าสูงสุดที่ผิวและลดน้อยลงเมื่อห่างออกไป ระยะห่างระหว่างผิวอนุภาคกับจุดศูนย์กลางอิออนที่อยู่ใกล้สุดเรียกว่าชั้น Stern Layer ( $\Omega$ ) ซึ่งถือว่าเป็นเปลือกชั้น ในทางทฤษฎีส่วนเปลือกชั้น นอกเรียกว่าDiffuse Layer (ชั้น กระจาย) ครอบคลุมเปลือกชั้น ในไปถึงตำแหน่งที่หยดน้ำ ามันมีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์

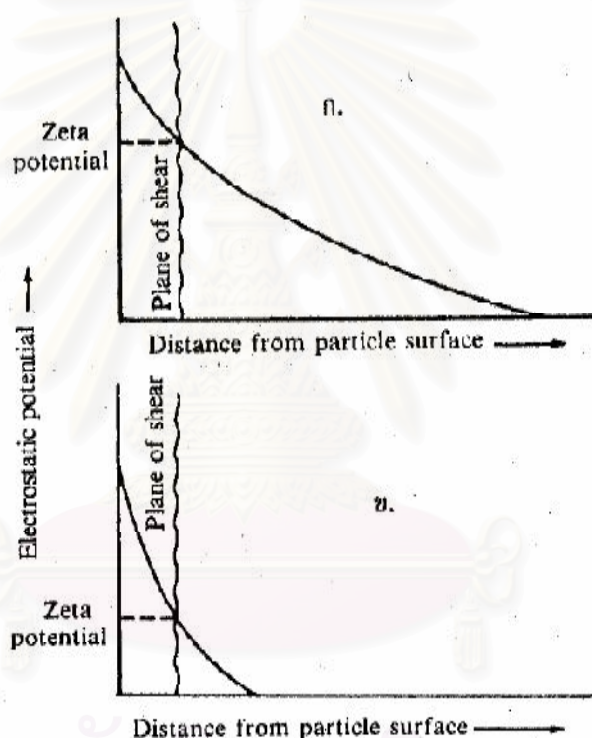


รูปที่ 2.9 โมเดลที่ใช้ในการอธิบาย Electric Double Layer Theory

(Reynolds และ Richards, 1996)

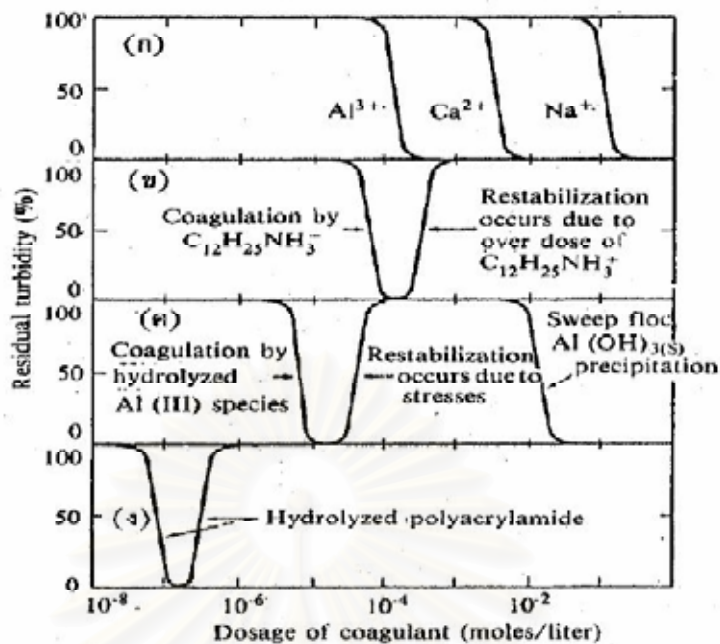
ดังนั้น การทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันจะต้องทำให้แรงดูด (Van Der Waals Force) ของหยดน้ำ ามันมีค่ามากกว่าแรงผลักระหว่างหยดน้ำ ามันเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของหยดน้ำ ามันหรือค่า Zeta Potential โดยอาศัยกลไก 4 แบบดังนี้

2.4.2.1 กลไกการลดความหนาของชั้น นกระจาย(Diffuse Layer) โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับหยดน้ำ ามันในชั้น นกระจายให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) ที่ผิววนอกสุดของน้ำ าลดตามไปด้วย(ดังรูปที่ 2.10) การทำลายเสถียรภาพ โดยการลดความหนาของชั้น นกระจาย ด้วยการเติมสารละลายของเกลือ เช่น NaCl ฯลฯ มีข้อที่น่าสนใจดังนี้



รูปที่ 2.10 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับหยดน้ำ ามัน (ก) ก่อน และ (ข) หลังเติมไอออน (Weber, 1972)

- ปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติมเพื่อทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามัน ด้วยวิธีการลดความหนาของชั้น นกระจายไม่ขึ้น อยู่กับความเข้มข้นของหยดน้ำ ามัน
- ไม่ว่าจะเติมไอออนบวกมากเพียงใด จะไม่สามารถทำให้หยดน้ำ ามันเปลี่ยนประจุไฟฟ้าจากลบเป็นบวก (Charge Reversal) ดังรูปที่ 2.11 ก.



รูปที่ 2.11 การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนต์ ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกลไกแบบต่างๆแบบ (ก) ซึ่งเป็นการลดความหนาของชั้นกระจายด้วย  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{Na}^{+}$  ต้องการสารเคมีมากที่สุด ส่วนแบบ (ง) ซึ่งเป็นการใช้โพลีเมอร์เป็นตัวเชื่อมโยง (สะพาน) ให้หยดน้ำมันมารวมตัวกันมีความต้องการสารโคแอกกูแลนต์ที่น้อยที่สุด (Benfield และคณะ, 1982)

2.4.2.2 กลไกดูดติดผิวและทำลายประจุของหยดน้ำมัน (Adsorption and Charge Neutralization) โดยใส่สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถทำให้ประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคหยดน้ำมันและดูดติดผิวได้ซึ่งจะมีผลในการลดศักย์ไฟฟ้าของหยดน้ำมันโดยเป็นการทำลายเสถียรภาพโดยกลไกดูดติดผิวจะใช้ปริมาณสารเคมีน้อยกว่ากลไกการลดความหนาของชั้นกระจายดังรูปที่ 2.11 ก. และ ข. แต่ถ้ามีการใช้สารเคมีมากเกินไปจะส่งผลทำให้เกิด Charge Reversal ดังรูปที่ 2.11 ข.

2.4.2.3 กลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้หยดน้ำมันเข้ามาเกาะจับ (Sweep Coagulation) การใส่สารส้มให้เกิดผลึก  $\text{Al}(\text{OH})_3$  เหมือนวุ้นสีขาวเพื่อให้อนุภาคมาเกาะแล้วรวมกันเป็นฟล็อกได้ กลไกการใช้ผลึกสารอินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันมีลักษณะที่แตกต่างกัน 2 แบบคือ แบบที่ 1 ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม (Optimum Dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของหยดน้ำมันกล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้โคแอกกูแลนต์จำนวนมากจึงจะเกิดกระบวนการโคแอกกูแลนต์ได้ดี แบบที่ 2 น้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้โคแอกกูแลนต์น้อยกว่าเหตุผลคือน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อยแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของหยด

น้ำมันจะเกิดขึ้นแล้วก็ตามกระบวนการโคแอกกูเลชันอาจเกิดได้ดีไม่เท่าที่ควรจึงจำเป็นต้องมีการใช้สารโคแอกกูแลนท์ปริมาณที่สูงก็เพื่อสร้างผลึกจำนวนมากๆสำหรับเป็นสารเป้าสัมผัสให้กับหยดน้ำมันแต่ในกรณีนี้น้ำมีความขุ่นสูงโอกาสสัมผัสย่อมมีมากจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่ากับกรณีแรก

2.4.2.4 กลไกสร้างสะพานเชื่อมต่อหยดน้ำมัน(Polymer bridging) โดยใช้สารโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อใส่ลงในน้ำเพื่อจะให้ก้อนจำนวนมากเกาะจับกับหยดน้ำมันและยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่นเพื่อทำให้เกิดฟล็อก

#### 2.4.3 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

ความสำคัญของกระบวนการโคแอกกูเลชัน เนื่องจากหยดน้ำมันที่มีขนาดเล็กไม่สามารถในการแยกโดยวิธีการตกตะกอน จึงมักจะต้องทำการโคแอกกูเลชันก่อนเพื่อเป็นการเพิ่มคุณสมบัติในด้านการตกตะกอนให้ดียิ่งขึ้นเช่น ทำให้สารแขวนลอยมีขนาดใหญ่ขึ้น

2.4.3.1 ส่วนประกอบของกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการโคแอกกูเลชันมีส่วนประกอบสำคัญ 2 อย่างคือ ถังกวนเร็ว (Rapid mixing tank) และถังกวนช้า (Flocculation tank) ถังกวนเร็วซึ่งมีการเติมโคแอกกูแลนท์จะทำหน้ากระจายสารเคมีไปยังส่วนต่างๆของน้ำอย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิดการละลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันเกิดขึ้น ถังกวนช้าซึ่งได้รับน้ำต่อจากถังกวนเร็วมีหน้าที่สร้างสัมผัสให้กับหยดน้ำมันเพื่อให้เกิดการรวมตัวเป็นฟล็อก

2.4.3.2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน สารเคมีหลักที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันเรียกว่า โคแอกกูแลนท์ (Coagulant) หรือเรียกว่า ฟล็อกคูแลนท์ (Flocculants) เช่น สารส้ม เพอร์รัสซัลเฟต ( $FeSO_4$ ) ปูนขาว และเพอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) สารเคมีที่ช่วยให้โคแอกกูแลนท์มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเรียกว่า โคแอกกูแลนท์เอ็ด (Coagulant aid) เช่น แอ็กติเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) และสารอินทรีย์โพลีเมอร์ โดยสารโพลีเมอร์สามารถทำการจำแนกประเภทของโพลีเมอร์ตามประจุการใช้สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulation aid) โพลีเมอร์สามารถแบ่งได้อย่างกว้างๆ 2 ชนิด คือ

- โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส (Cellulose), เจลาติน (Gelatin) และ แป้ง (Starch)
- โพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ในปี ค.ศ.1979 ได้มีการสังเคราะห์โพลีเมอร์ขึ้นอย่างสมบูรณ์ และนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง Polyacrylamide ที่สร้างขึ้นจาก Monomer ที่รวมกันเป็น

สายโซ่ยาวจำนวนโมเลกุลจะประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณเป็นล้านหน่วย องค์ประกอบและรูปแบบทางด้านกายภาพของโพลีเมอร์มีรูปร่างเป็นโซ่ยาว (Long chain) เป็นสารเคมีชนิดพิเศษสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้อย่างสมบูรณ์จาก Monomers หลายๆ อันรวมกันหรือสามารถทำได้จากการเพิ่มสารเคมีลงไปเพื่อเพิ่มหน้าที่ของ Monomers ซึ่งเป็นตัวแบ่งประเภทของโพลีเมอร์ที่เกิดขึ้น ดังนั้น Monomer จึงเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโพลีเมอร์ แขนของ Monomer ค่อนข้างกว้าง จึงใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์โพลีเมอร์ เช่น Acrylamide เป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์โพลีเมอร์สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ คือ

Cationic polymer มีประจุบวกบนส่วนของสารอินทรีย์ระดับของประจุบนโพลีเมอร์ ขึ้นอยู่กับจำนวนออกซิเจนของ Nitrogen groups มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพตะกอนซึ่งมีประจุลบ ตัวอย่าง Cationic polymer เช่น Polydiallyldimethyl ammonium (PDADMA, cat-floc) สารรวมตะกอน Polyacrylamide ประเภท Cationic เตรียมได้โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสารเคมีชนิด Non-ionic-polyacrylamide หรือเป็นการรวม Cationic monomer ด้วย Acrylamide polymer ชนิด Cationic polymer จะนิยมใช้ในงานปรับสภาพตะกอนเนื่องจากของแข็งในน้ำตะกอนนั้นมีประจุลบ

Anionic Polymer มีประจุลบบนส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ จำนวนประจุลบขึ้นขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มของ Acrylamide ที่ละลายอยู่ใน Crylic acid ชนิดของ Anionic polymer เช่น Polyacrylamide acid (PAA), Hydrolyzed polyacrylamide (HPAM) และ Polystyrene sulfate (PSS) สารรวมตะกอน polyacrylamide ประเภท anionic มีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อละลายน้ำ และทำให้เกิดกลุ่ม Amide group ( $\text{NH}_2$ ) หรือเกิดจากการรวมกลุ่มของ Anionic monomer จนเป็น Acrylamide polymer

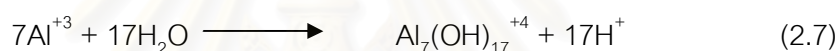
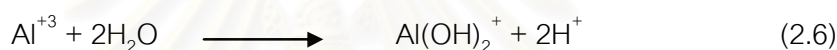
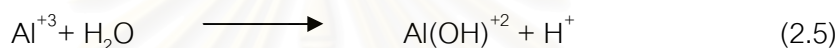
Nonionic polymer ไม่ละลายน้ำ แต่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมอนุภาคของตะกอนให้เกิดการรวมกลุ่มกันได้ดี ในทางปฏิบัติ Nonionic polymer อาจเกิดจากการรวมกันของสารอินทรีย์โพลีเมอร์ Inorganic polymer และสารอินทรีย์โพลีเมอร์ (Organic polymer) ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของฟล็อกโครงสร้างในรูปสารละลายของสารอินทรีย์โพลีเมอร์เมื่อละลายน้ำจะเปลี่ยนเป็นสารละลาย ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความหนืด ซึ่งค่าความหนืด (Viscosity) ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและระดับของประจุไฟฟ้า

2.4.3.3 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากสามารถใช้ได้ดีกับน้ำดิบจากแหล่งต่างๆ และหาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่แพง

มากนัก สารส้ม (อลูมิเนียมซัลเฟต) มีสูตรโมเลกุล  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ซึ่งโดยปกติ \* มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำ จะแตกตัวให้ อีออนบวกและลบ ดังปฏิกิริยาที่ 2.4



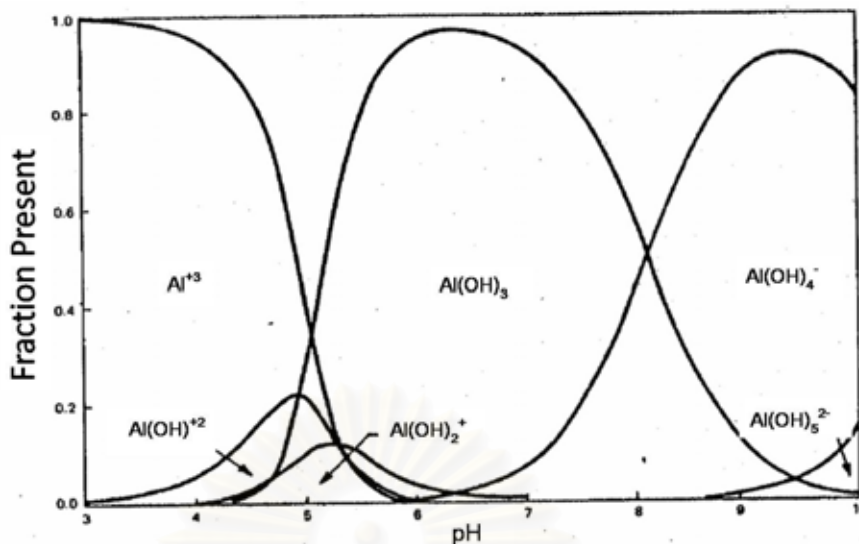
เมื่อเติมสารส้มในน้ำ อลูมิเนียมไอออนจาก  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำได้  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$  หรือ  $\text{Al}^{+3}$  ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของ  $\text{Al}^{+3}$  จะเกิดขึ้นทันทีโดยไลแกนด์ (Ligands) ชนิดต่างๆที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง  $\text{OH}^-$  จะเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex substance) ระหว่างอลูมิเนียมกับไฮดรอกไซด์ไอออน (Hamza, Stanonik และ Kessick, 1996) ดังปฏิกิริยาที่ 2.5-2.7



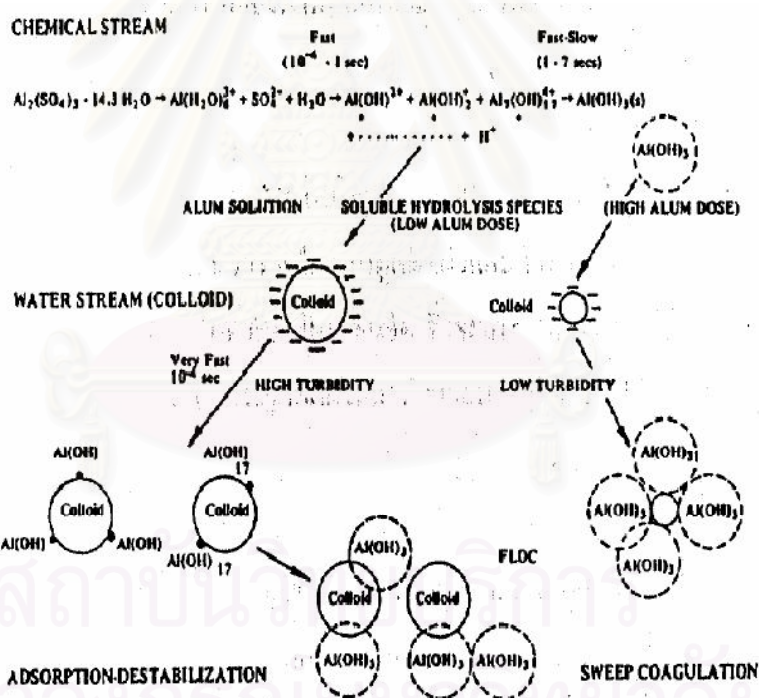
ในกรณีที่ความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (Saturation point) ไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไปจนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึก  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ดังปฏิกิริยาที่ 2.8



ผลของปฏิกิริยาที่จะเกิดการดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์คือสารคอมเพล็กซ์ที่เกิดขึ้น ในระหว่างไฮโดรไลซิสจาก  $\text{Al}^{+3}$  ถึง  $\text{Al}(\text{OH})_3$  สารคอมเพล็กซ์อาจมีประจุลบหรือบวกก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอช (pH) ของน้ำ กล่าวคือถ้าพีเอชของน้ำสูงกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้า (Zero Point of Charge) ของ  $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$  จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบ เช่น  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_5^{2-}$  ถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่าจะสะเทินทางไฟฟ้าของ  $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$  ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้น ไปด้วยไปในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวก เช่น  $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ ,  $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{+4}$ ,  $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{+5}$  (ดังรูปที่ 2.12) สารส้มที่เติมลงในน้ำ จะเกิดการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไกหลักดังนี้ (ดังรูปที่ 2.13)



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มและค่าพีเอช (Sank, 1980)



รูปที่ 2.13 กลไกในการสร้างโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม (Sank, 1980)

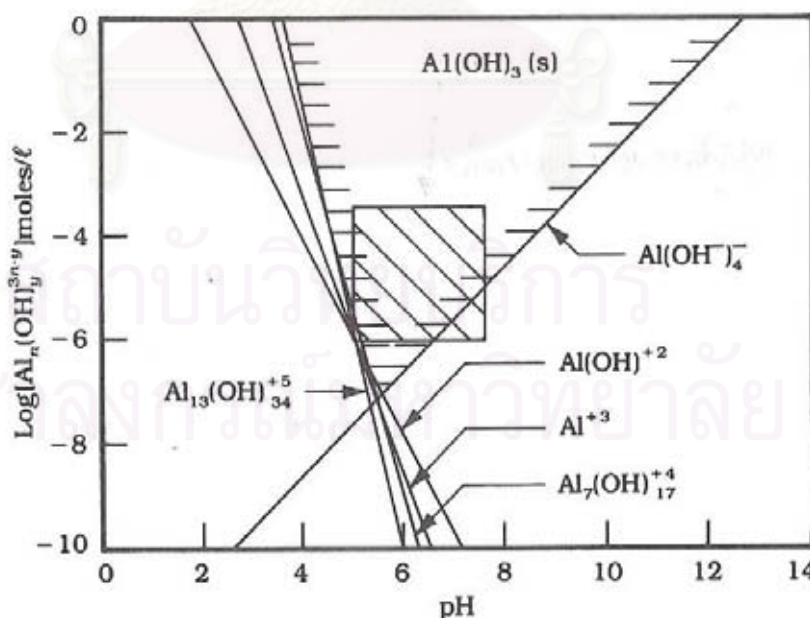
- กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption and Charge Neutralization) เกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวก ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ซึ่งมักมีประจุเป็นลบให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้อนุภาครวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนด้วยน้ำหนักของอนุภาคเพียงลำพังกลไกนี้ มีช่วงความเหมาะสมที่แคบซึ่งจะควบคุมการทำงานให้ดีขึ้น ยากเพราะสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น จะต้องพอเหมาะเท่านั้น ถ้าหาก

มีปริมาณต่ำเกินไปกระบวนการโคแอกกูเลชันจะไม่เกิด แต่ถ้าสูงเกินไปสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดติดผิวอนุภาคมากทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุบวกและเกิดเสถียรภาพขึ้น อีกแต่ตะกอนที่เกิดจากกลไกนี้ สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย

- กลไกแบบกวาด (Sweep Coagulation) ในกรณีความเข้มข้นของสารส้มมากเกินไปจนปฏิกิริยาดำเนินต่อไปจนได้  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ดังปฏิกิริยาที่ (2.8) การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไกนี้ จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมสารส้มเป็นจำนวนมากพอจนมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว ซึ่งทำให้ผลึกของ  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาคและทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียวไม่แสดงอิทธิพลทางประจุไฟฟ้า จึงทำหน้าที่สร้างเป้าสัมผัสอนุภาคคอลลอยด์จนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เพียงลำพัง

- กลไกโคแอกกูเลชันแบบร่วม (Combination Coagulation) เป็นการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุแบบกวาด โดยที่ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองมีไม่เด่นชัด

Reynolds และ Richards ได้รวบรวมผลการวิจัยเกี่ยวกับโคแอกกูเลชัน ด้วยสารส้มและนำมาวิเคราะห์จึงเสนอหลักการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มดังแสดงใน (ดังรูปที่ 2.14) ซึ่งจากภาพแสดงให้เห็นว่าโคแอกกูเลชันของสารส้มด้วยกลไกแบบกวาดจะได้ผลดีที่สุดที่พีเอช 6.8 ถึง 8.2

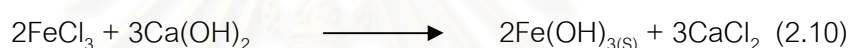


รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม

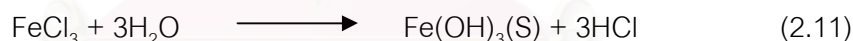
(Reynolds และ Richards, 1996)



2.4.3.4 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ โดยทั่วไปเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride) มีสูตรทาง เคมีว่า  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  หรือ  $\text{FeCl}_3$  anhydrous มีลักษณะผลึกสีน้ำตาลหรือเหลือง เป็นเม็ดสีเขียวหรือดำและมีรูปสารละลายสีน้ำตาลแกมเหลืองปกติจะละลายน้ำได้ดีในน้ำดิบในรูปของสารละลาย โดยสารละลายจะมีฤทธิ์ เป็นกรดและก่กร่อนปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น จะได้ตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารเคมีที่แตกตัวในน้ำ รูปแบบของสารประกอบเหล็กเมื่อละลายน้ำนั้นจะมีประจุบวกสามารถทำให้เป็นกลางได้โดยใช้ประจุลบที่เกิดจากของแข็งในน้ำ ตะกอนด้วยเหตุนี้ จึงเป็นสาเหตุของการรวมกลุ่มของตะกอนเฟอร์ริกคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับ Bicarbonate alkalinity ในน้ำตะกอนและเปลี่ยนรูปเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์กับ Bicarbonate alkalinity ดังปฏิกิริยาที่ 2.9 และ 2.10

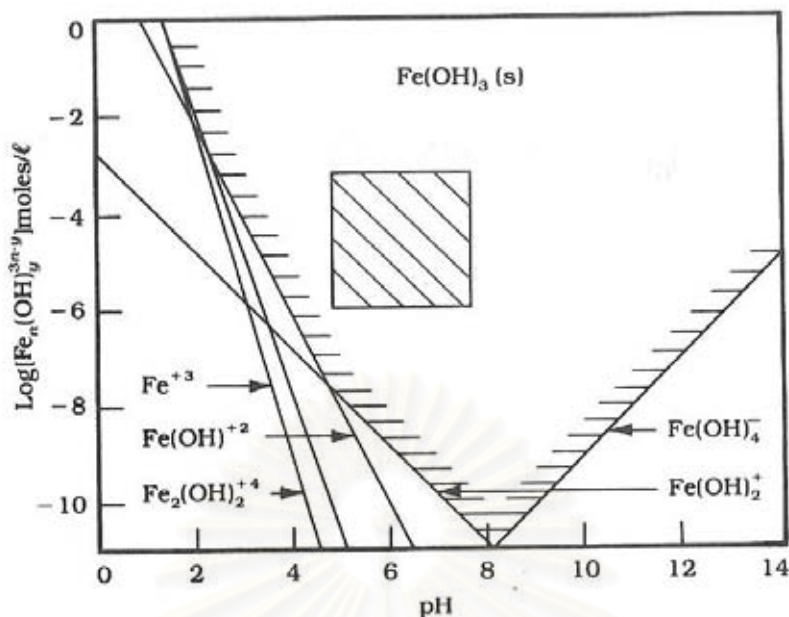


การสร้างโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มไม่อาจได้ผลดีมากนักกับน้ำ อ่อนที่มีสีเข้มกรณีเช่นนี้เฟอร์ริกคลอไรด์ให้ผลดีกว่าเมื่อเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ให้กับน้ำ จะมีผลึกเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น ดังปฏิกิริยาที่ 2.11 (มันสิน, 2537)



ข้อดีอีกประการหนึ่งของสารเคมีชนิดนี้ คือสามารถสร้างโคแอกกูเลชันกับน้ำ ที่มี  $\text{H}_2\text{S}$  ได้ดี เฟอร์ริกคลอไรด์จะทำหน้าที่เป็นสารสร้างตะกอนในกระบวนการตกตะกอนได้ทั้ง 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 โคแอกกูเลชันเฟอร์ริกคลอไรด์นี้ จะทำหน้าที่สะเทินประจุบนผิวของอนุภาคต่างๆ ทั้งที่แขวนลอยและละลายอยู่ในน้ำ ำให้กลายเป็นกลางโดยการดูดซับประจุละทำปฏิกิริยากับประจุบนผิวของอนุภาคนั้นๆ ซึ่งเป็นผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคอ่อนลง และอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น เกิดเป็นตะกอนเล็กๆ ขนาดระหว่าง  $10^{-9} - 10^{-7}$  ม.

ขั้นตอนที่ 2 ฟลอคคูเลชันเฟอร์ริกคลอไรด์จะทำหน้าที่รวมตะกอนเล็กๆ ซึ่งเกิดขึ้นจาก ขั้นตอนที่ 1 ให้เป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดมากกว่า  $10^{-7}$  ม. ซึ่งถือว่าเป็นขนาดของตะกอนที่ใหญ่และหยาบทำให้ง่ายต่อขบวนการแยกตะกอนออกจากรน้ำในกระบวนการต่อไปดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยฟอริคคอลลอยด์ และ เฟอร์ริคคอลลอยด์ (Reynolds และ Richards, 1996)

#### 2.4.4 กระบวนการฟล็อกคูเลชัน

2.4.4.1 ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปมาในน้ำ จนกว่าจะมีการสร้างสัมผัสเกิดขึ้น คือ กวนน้ำ ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆของน้ำ มีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกันเป็นเหตุให้อนุภาคต่างๆมีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำ ต้องไม่รวดเร็วจนเกินไปมิฉะนั้น แล้วฟล็อกที่เกิดขึ้น อาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้วิธีนี้เป็นวิธีธรรมดาที่นิยมใช้กันทั่วไปซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมผัสหรือสร้างฟล็อกคูเลชันเรียกว่าถังกวนช้า โดยวิธีการสร้างสัมผัสแบบนี้ มีชื่อเทคนิคว่า Orthokinetic Flocculation อนุภาคคอลลอยด์ที่มีฟล็อกคูเลชันแบบนี้ ควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1-1 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4.4.2 การสัมผัสของอนุภาคคอลลอยด์ อาจเกิดขึ้น ได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนซึ่งเกิดขึ้น นี้เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำ ซึ่ง น้อยกว่าอุณหภูมิการสร้างสัมผัสแบบนี้ จึงขึ้น อยู่กับอุณหภูมิ ด้วยจึงอาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนเรียกว่า Perikinetic Flocculation

#### 2.4.5 การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชันจำเป็นต้องรู้ชนิดและปริมาณสารที่เหมาะสมตลอดจนสภาวะต่างๆที่เอื้ออำนวยต่อการโคแอกกูเลชันซึ่ง ได้แก่ ระดับพีเอชของน้ำ ความเร็วแกรเดียนท์ และระยะเวลาในการกวนน้ำ ความก้าวหน้าของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโคแอกกูเลชันยังไม่สามารถจะใช้กำหนดและควบคุมตัวแปรต่างๆ ดังกล่าวแล้วได้อย่างสมบูรณ์จึงได้มีผู้พยายามพัฒนาวิธีควบคุมโคแอกกูเลชันนอกเหนือจากการทดลองจาร์เทสต์ ได้แก่ วิธีการควบคุมโดยศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) การควบคุมโดยวิเคราะห์หาสารโคแอกกูแลนท์ที่เหลือ (Residual Coagulant Analysis) และการควบคุมโดยการหาความสามารถในการกรอง (Filterability) (มันสิน, 2537)

2.4.5.1 พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน ความเร็วแกรเดียนท์ (G) หมายถึงความปั่นป่วนของน้ำซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยเฉพาะกลไกการดูดติดผิวและทำลายประจุ ความปั่นป่วนของน้ำในถังกวนเร็วจะต้องมีระดับสูงกล่าวคือไม่น้อยกว่า 300 วินาที<sup>-1</sup> เพื่อให้การกระจายของสารส้มเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอแต่ในถังกวนช้าจะมีความปั่นป่วนต่ำมีค่าไม่เกิน 60-100 วินาที<sup>-1</sup> เพื่อให้อนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วสัมผัสกันและจับตัวเป็นก้อนใหญ่ พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำเพื่อสร้างความปั่นป่วนสามารถคำนวณได้จากสมการของแคมท์ และสไตน์ดังนี้

$$G = \left( \frac{P}{uV} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.12)$$

เมื่อ

G	=	ความเร็วแกรเดียนท์ (วินาที <sup>-1</sup> )
P	=	พลังงานที่ใช้ นิวตัน (ม./วินาที)
u	=	ความหนืดของน้ำ (นิวตันวินาที/ม. <sup>2</sup> )
V	=	ปริมาตรของน้ำในถังกวนเร็ว(ม. <sup>3</sup> )

กรณีที่เกิดการกวนผสมเกิดจากอากาศหรือก๊าซออกซิเจน (Pneumatic mixing) ในถังกวนผสม ถังเติมอากาศในกระบวนการ Activated-sludge และกระบวนการ Induced air flotation เป็นความปั่นป่วนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ขึ้นของฟองอากาศในของเหลว โดยสมการการคำนวณหา ค่าพลังงานที่ใช้ฟองอากาศในการปั่นกวนได้ดังสมการที่ 2.13 (Reynolds และ Richards, 1996)

$$P = C_1 Q_G \log \left( \frac{(h + C_2)}{C_2} \right) \quad (2.13)$$

เมื่อ

P	=	พลังงานที่ใช้ นิวตัน (ม./วินาที)
C <sub>1</sub>	=	ค่าคงที่เท่ากับ 3904
C <sub>2</sub>	=	ค่าคงที่เท่ากับ 10.4
h	=	ระดับความลึกหัวเติมอากาศ (ม.)
Q <sub>G</sub>	=	อัตราการไหลอากาศ (ม. <sup>3</sup> /นาที)

2.4.5.2 การควบคุมด้วยวิธีจาร์เทสต์ จาร์เทสต์เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างกว้างขวาง จาร์เทสต์เป็นวิธีทดสอบอย่างง่าย ๆ โดยทำการทดลองในบีกเกอร์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับความเร็วรอบได้ส่วนมากมักมีใบพัดกวนนี้ ๖ ใบ ในการทดลองแต่ละครั้งจะเลือกชนิดของสารโคแอกกูแลนต์และกำหนดหนดสภาวะต่างๆ ได้แก่ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง ความเร็วรอบ ระยะเวลาการกวนนี้ และระยะเวลาในการตกตะกอนไว้ค่าหนึ่งจึงทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ ส่วนระดับพีเอชอาจเปลี่ยนแปลงหรือคงที่ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์จากนั้น ก็จะได้ค่าประมาณชนิดของสารโคแอกกูแลนต์และระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดโคแอกกูแลชั่นในการทดลองควรทำหลายๆครั้งเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

วิธีการทำจาร์เทสต์ (มันลิน, 2537)

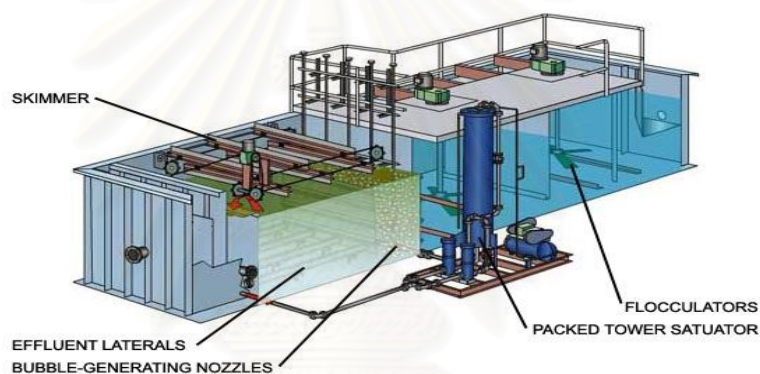
1. วิเคราะห์น้ำตัวอย่างเพื่อหาสี ความขุ่น พีเอช และความเป็นต่าง
2. เติมน้ำตัวอย่าง 800 มิลลิลิตร ลงในแก้วบีกเกอร์แต่ละใบ และเติมสารเคมีเป็นโคแอกกูแลนต์ลงไปในแก้ว ตามปริมาณที่ต้องการใช้
3. กวนสารเคมี ที่อัตราการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 1 นาที
4. เปลี่ยนมากวนช้า 30 รอบต่อนาที นาน 30 นาที แล้วตั้งทิ้งให้ตกตะกอนนาน 30 นาที
5. ดูน้ำส่วนใสไปทำการวิเคราะห์ ความขุ่นและพีเอช

## 2.5 กระบวนการทำให้ลอย (Flotation)

กระบวนการทำให้ลอยเป็นกระบวนการที่ปล่อยฟองอากาศเข้าสู่ น้ำเสียที่ระดับความดันบรรยากาศหรือที่ระดับความดันสูงกว่าระดับความดันบรรยากาศโดยอากาศเหล่านี้ จะสัมผัสกับหยดน้ำ มันและการสัมผัสกันระหว่างหยดน้ำ มันกับหยดน้ำ มันที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ เสียทำให้

เกิดเกาะรวมตัวกันและเคลือบตัวผู้ผิวหน้าและหยดน้ำมันจะถูกกวาดออกไปในที่สุด โดยกระบวนการทำให้ลอยสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท

- Dissolved Air Flotation (DAF) เป็นวิธีการที่ต้องใช้ความดันสูงประมาณ 4-5 บรรยากาศ จากนั้นลดความดันให้เท่ากับความดันบรรยากาศอากาศจะหลุดออกมาเป็นฟองขนาดเล็ก โดยขนาดของฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ DAF จะมีขนาดประมาณ 30-100 ไมโครเมตร ซึ่งจะเกาะและพองสารที่เป็นของแข็งและหยดน้ำมันต่างๆให้ลอยขึ้นมาที่ผิวหน้า จากนั้นเครื่องกวาดวัสดุจะทำการกวาดวัสดุที่ลอยแยกออกมาระบบนี้ เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงแต่มีข้อเสียเนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูงมากในการเดินระบบเพราะต้องใช้พลังงานสูงและใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อทำให้เกิดความดันตามต้องการตัวอย่างและระบบการทำงานของกระบวนการ DAF ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างและระบบการทำงานของกระบวนการ DAF

- Induced Air Flotation (IAF) หลักการของอินดิวิจแอริฟเลชันคือการเติมอากาศที่ความดันบรรยากาศเพื่อทำให้เกิดฟองอากาศ ฟองอากาศเกิดได้จากการทำงานของเครื่องจักรโดยการปั่นกววนหรือการพ่นฟองอากาศโดยตรงจากหัวเติมอากาศ ขนาดของฟองที่เกิดขึ้นประมาณ 700-1,500 ไมโครเมตร จะถูกปล่อยสู่น้ำเสียที่ต้องการบำบัดฟองอากาศจะเข้าไปเกาะกับน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียแล้วลอยตัวผู้ผิวหน้าเสียด้านบนซึ่งทำให้น้ำมันแยกออกจากน้ำเสียโดยแรงลอยตัวที่ได้จากฟองอากาศ ข้อดีของกระบวนการ IAF เป็นกระบวนการที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักน้อย การบำรุงรักษาค่อนข้างง่าย ใช้เวลาน้อยในการกำจัดน้ำมันประสิทธิภาพสูง และค่าใช้จ่ายต่ำ กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีอินดิวิจแอริฟเลชันยังสามารถเป็นการเติมอากาศสู่น้ำเสียเพื่อเพิ่มค่าออกซิเจนให้น้ำเสียได้อีกทางหนึ่ง (Rubio และคณะ, 2002)

### 2.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมอากาศของกระบวนการ IAF

ในการเติมอากาศลงไปใต้น้ำ เราเสี่ยจะใช้เครื่องเติมอากาศ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ สามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ดังนี้ แบบตัวกระจายอากาศ(Diffused Aeration) และแบบตีน้ำ (Mechanical Aeration) โดยชนิดของอุปกรณ์เติมอากาศที่มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการ IAF เป็นแบบตัวกระจายอากาศ

2.5.1.1 แบบตัวกระจายอากาศ (Diffused Aeration) ระบบเติมอากาศแบบใช้ตัวกระจายอากาศ อาศัยหลักการให้อากาศที่เกิดจากเครื่องเป่าอากาศหรือเครื่องดูดอากาศทำการพ่นหรือเป่าลงไปใต้น้ำ โดยอาศัยตัวกระจายอากาศเป็นตัวจ่ายอากาศ โดยมากอากาศที่ถูกพ่นลงไปใต้น้ำ จะมีลักษณะเป็นฟองอากาศ ซึ่งตัวกระจายอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ลักษณะคือ แบ่งตามขนาดฟองอากาศและแบ่งตามลักษณะทางกายภาพ แบ่งตามขนาดฟองอากาศ

- ขนาดเล็ก (Fine bubble) ตัวกระจายอากาศจะมีรูพรุนขนาดรูจะเล็กมาก อาจมีลักษณะเป็นแผ่น เป็นท่อ หรือเป็นหมวกยอดกลม (Dome) ซึ่งทำจากซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide,  $\text{SiO}_2$ ) หรือ อลูมินัมออกไซด์ (Aluminum Oxide,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) โดยมีวัสดุยึดประสานพวกเซรามิก (Ceramic) เป็นตัวช่วยยึดประสานเป็นรูปร่างที่ต้องการ ขนาดของฟองอากาศจะมีขนาด 2.0-2.5 มิลลิเมตร โดยทั่วไปตัวกระจายอากาศแบบนี้ จะออกแบบให้สามารถจ่ายอากาศได้ในอัตรา 0.1-0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อหัว ลักษณะทั่วไปของตัวกระจายอากาศแสดงไว้ในรูป 2.17

- ขนาดกลาง (Medium bubble) ตัวกระจายอากาศจะมีรูพรุนขนาดรูจะมีขนาดกลาง โดยมากจะมีลักษณะเป็นท่อ ซึ่งทำด้วยเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) เจาะเป็นรูๆและหุ้มด้วยฉนวนผ้ามีขนาดฟองอากาศใหญ่กว่า 2.5 มิลลิเมตร เล็กน้อย

- ขนาดใหญ่ (Coarse bubble) ตัวกระจายอากาศจะมีรูที่มีขนาดใหญ่กว่าของขนาดเล็ก และขนาดกลาง อาจมีลักษณะเป็นท่อ หรือเป็นหมวกยอดกลม (Dome) ตัวกระจายอากาศแบบนี้ มีขนาดฟองอากาศใหญ่กว่า 2.5 มิลลิเมตร ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบนี้แสดงดังรูป 2.18



รูปที่ 2.17 หัวเติมอากาศแบบ Fine bubble



รูปที่ 2.18 หัวเติมอากาศแบบ Coarse bubble

แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ

- แบบรูพรุนเล็ก (Porous diffusers) ตัวกระจายอากาศแบบรูพรุนเล็กมีรูปลักษณะต่างๆ ได้แก่ แบบแผ่น (Plate diffusers) แบบท่อ (Tube diffusers) แบบหมวกยอดกลม (Dome diffusers) และแบบแผ่นจาน (Disc diffusers)

- แบบแผ่น (Plate diffusers) ตัวกระจายอากาศแบบแผ่นอยู่ในกลุ่มของแบบรูพรุนเล็กมีลักษณะเป็นแผ่น Ceramic สีเหลืองขนาด 30 ซม. × 30 ซม. ×หนา 25-38 มม. ตัวกระจายอากาศแบบนี้ จะยึดติดกับพื้นของถังหม้ออากาศ ดังรูปที่ 2.19

- แบบท่อ (Tube diffusers) ตัวกระจายอากาศแบบท่ออยู่ในกลุ่มของแบบรูพรุนเล็กมีลักษณะเป็นท่อ ซึ่งทำจาก Aluminum Oxide หรือพวกร HDPE (High Density Polyethylene) โดยอาจเป็นแบบแข็ง (Rigid) หรือแบบโค้งงอ (Nonrigid) ดังรูปที่ 2.20 โดยทั่วไปตัวกระจายอากาศแบบท่อ สามารถออกแบบให้มีอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.5-4.7 ลิตรต่อวินาทีต่อตัวกระจายอากาศ

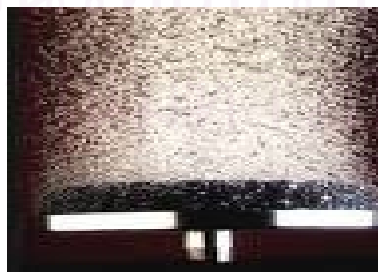


รูปที่ 2.19 หัวเติมอากาศแบบ Plate diffusers



รูปที่ 2.20 หัวเติมอากาศแบบ Tube diffusers

- แบบหมวกยอดกลม (Dome diffusers) ตัวกระจายอากาศแบบหมวกยอดกลมอยู่ในกลุ่มของแบบรูพรุนเล็กมีลักษณะเป็นหมวกกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 18 เซนติเมตร ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบหมวกยอดกลมได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 หัวเติมอากาศแบบ Dome diffuser

- แบบแผ่นจาน (Disc Diffusers) ตัวกระจายอากาศแบบแผ่นจานอยู่ในกลุ่มของแบบรูพรุนเล็กมีลักษณะเป็นแผ่นจานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 18-24 มิลลิเมตร โดยแผ่นจานนี้มี

อยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ แผ่นจาน Ceramic แผ่นจาน Glass bead แผ่นจาน Aluminum Oxide แผ่นจาน Polyethylene ซึ่งได้ถูกยึดติดกับท่อกระจายอากาศ PVC

- แบบ Jet aerator มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนค่อนข้างสูงพอประมาณ มีขนาดฟองอากาศตั้งแต่ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ หลักการคือ อาศัยการผสมกันระหว่างอากาศที่ถูกจ่ายเข้าไปด้วยเครื่องอัดอากาศ และน้ำที่ถูกสูบเข้าไปผสมกันตรงบริเวณช่องแคบ(Nozzle) ทำให้เกิดความเร็วสูงมาก โดยทั่วไปจะติดตั้งไว้บริเวณใกล้กับพื้นน้ำถึงเต็มอากาศ ตัวกระจายอากาศแบบนี้เหมาะสมกับถังเติมอากาศที่มีความลึกมากถึง 7-8 เมตร ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 เครื่องอากาศแบบ Jet aerator

### 2.5.2 การทำให้ลอยในน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมัน

หลักการของการบำบัดคือ การทำให้ฟองอากาศเกิดการสัมผัสกับหยดน้ำมันโดยทั้งฟองอากาศและหยดน้ำมันมีคุณสมบัติของความหนาแน่นที่ต่ำกว่าน้ำ ส่งผลทำให้สามารถเกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมันโดยปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการทำให้ลอยประกอบด้วย ขนาดของหยดน้ำมัน ระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้ลอย ความแตกต่างด้านความหนาแน่นของหยดน้ำมัน ฟองอากาศ และน้ำ การเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันและฟองอากาศในของเหลว และการเติมสารเคมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำให้ลอย

2.5.2.1 กฎของนิวตัน (Newton's law) เป็นกฎที่ใช้ในการหาความเร็วสุดท้ายของอนุภาคทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $D_p$  โดย  $A = \frac{\pi D_p^2}{4}$  และ  $m = \left( \frac{\pi D_p^3}{6} \right) \rho_p$  ดังสมการ (สรวิตรี, 2546)

$$V_t = \left( \frac{4(\rho_p - \rho)gD_p}{3C_D\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ (Newton's law)} \quad (2.14)$$

สมการนี้ สามารถคำนวณหาความเร็วสุดท้ายของการตกตะกอนได้ในทุกช่วงของย่านการไหลโดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าเรย์โนลด์ ( $N_{Rep}$ ) และค่าแดร็ก ( $C_D$ ) สามารถแสดงได้ดังนี้



- ในย่านการไหลแบบลามินาร์ (laminar flow), ที่  $N_{Rep} < 1.9$

$$C_D = \frac{24}{N_{Rep}} \quad (2.15)$$

$$V_t = \frac{g(\rho_p - \rho)D_p^2}{18\mu} \text{ (Stoke's law)} \quad (2.16)$$

- กรณีที่วัตถุมีความเร็วอยู่ในย่านจุดเปลี่ยน (transition state),  $1.9 < N_{Rep} < 500$

$$C_D = \frac{18.5}{N_{Rep}^{0.6}} \quad (2.17)$$

- กรณีที่วัตถุมีความเร็วการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent) ที่  $500 < N_{Rep} < 200,000$

$$C_D = \text{ค่าคงที่} = 0.44 \quad (2.18)$$

โดยมีค่าเรย์โนลด์

$$N_{Rep} = \frac{L_D v_{fs} \rho}{\mu} \quad (2.19)$$

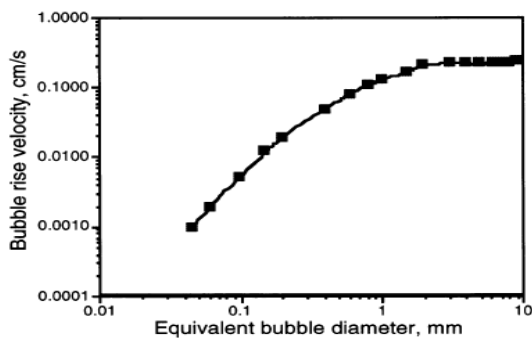
$L_D$	=	ความยาวของวัตถุทรงกลม(ม.)
$v_{fs}$	=	ความเร็วสัมพัทธ์ของอนุภาค(ม. /วินาที)
$\rho$	=	ความหนาแน่นของของเหลว (กก. /ม. <sup>3</sup> )
$\mu$	=	ความหนืดของของเหลว (นิวตัน.ม. /วินาที)

2.5.2.2 ขนาดของหยดน้ำมันโดยทั่วไป ่าเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมันในรูปอิมัลชันขนาดของหยดน้ำมันมีขนาดประมาณ 3-20 ไมโครเมตร โดยหยดน้ำมันที่ไม่มีการปนเปื้อนสารลดแรงตึงผิวมีขนาดประมาณ 70 และ 20 ไมโครเมตร จะใช้ระยะเวลาในการแยกประมาณ 600 และ 3,000 วินาที ตามลำดับ และน้ำ ่าเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมันรวมกับสารลดแรงตึงผิวขนาดของหยดน้ำมันมีขนาดประมาณ 3-5 ไมโครเมตร ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกประมาณ 24-26 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ความเข้มข้นต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (Deng และคณะ, 2005)

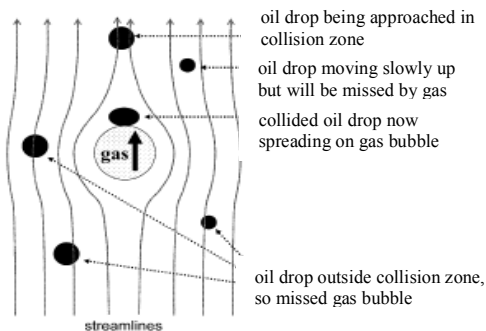
2.5.2.3 การสัมผัสระหว่างฟองอากาศกับหยดน้ำมันฟองอากาศปกติจะมีขนาดใหญ่กว่าหยดน้ำมัน โดยขนาดของฟองอากาศจะมีขนาดใหญ่มากกว่า 50 ไมโครเมตร เนื่องจากฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่ และความแตกต่างกันอย่างมากระหว่างความหนาแน่นของอากาศกับน้ำ ่าประมาณ

0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรแต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของหยดน้ำมันกับน้ำ มีค่าประมาณ 0.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากความแตกต่างที่เกิดขึ้น ส่งผลทำให้การเคลื่อนตัวของฟองอากาศมากกว่าหยดน้ำมันประมาณ 0-100 เท่า และเป็นข้อดีเมื่อนำเอาฟองอากาศมาใช้ในการแยกน้ำมัน โดยฟองอากาศจะมีความสามารถในการชนและเกิดการเกาะติดระหว่างฟองอากาศกับหยดน้ำมันที่มีขนาดเล็กและหยดน้ำมันที่มีขนาดใหญ่ เป็นการเพิ่มความเร็วในการแยกชั้นระหว่างน้ำมัน กระบวนการทำให้ลอยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกได้อีกโดยการเพิ่มระยะเวลาการกักของฟองอากาศในระบบที่สูงขึ้น และการเพิ่มจำนวนของฟองอากาศ หรือความถี่ในการเกิดฟองอากาศ (Bubble Formation Frequency) เพื่อเพิ่มความถี่ของการชนระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศ

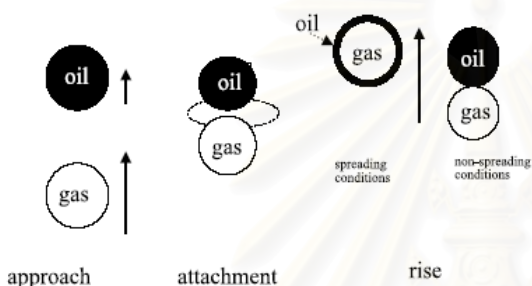
2.5.2.4 การเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันและฟองอากาศในการเคลื่อนที่ของฟองอากาศโดยความเร็วของฟองอากาศขึ้นอยู่กับขนาดของฟองอากาศซึ่งเพิ่มขึ้นตามขนาดของฟองอากาศที่เพิ่มขึ้น และจะเริ่มคงที่เมื่อฟองอากาศมีขนาดใหญ่มากกว่า 1 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 2.23) สำหรับการเคลื่อนที่ของฟองอากาศในน้ำ เสียปนเปื้อนน้ำมันชั้นแรกฟองอากาศจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันในวิธีโคจรเดียวกันจากนั้นจะเกิดการชนและเกิดการเกาะติด โดยการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นของฟองอากาศในระบบการทำให้ลอยเป็นการเคลื่อนแบบไม่มีระบบ และเป็นกลไกที่มีความซับซ้อน ส่วนการเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันผ่านฟองอากาศเกิดขึ้นได้โดยการเลี้ยวเบนผ่านฟองอากาศหรือเกิดการชนแล้วเกาะติด (ดังรูปที่ 2.24, 2.25 และ 2.26) ซึ่งการคำนวณหาประสิทธิภาพการชนแล้วเกิดการเกาะติดกันระหว่างฟองอากาศกับน้ำมันทำได้ยากเนื่องจากการเคลื่อนที่ลอยขึ้นของฟองอากาศเป็นผลเนื่องมาจากการลดลงของความดันประมาณ 0.3% เมื่อมีการเคลื่อนที่สูงขึ้น 100 มิลลิเมตร และการกระจายตัวของฟองอากาศที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำเกิดการอิมิตด้วยอากาศ โดย Reay และ Ratcliff ในปี 1978 ได้ทำการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการชนกันระหว่างอนุภาคหยดน้ำมันกับฟองอากาศ จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดของการเติมอากาศเมื่อขนาดของหยดน้ำมันอยู่ระหว่าง 3-100 ไมโครเมตร โดยประสิทธิภาพของการทำให้ลอยขึ้นอยู่กับขนาดฟองอากาศ เช่น ฟองอากาศที่มีขนาดเล็กจะมีผิวสัมผัสมากกว่าฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่ และทำให้ระยะเวลาที่ฟองอากาศอยู่ในระบบนานกว่าฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่ และยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของฟองอากาศ ขนาดของหยดน้ำมันที่มีขนาดใหญ่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำให้ลอยมากกว่าหยดน้ำมันที่มีขนาดเล็กโดยหยดน้ำมันที่มีขนาดใหญ่เป็นกรณีเพิ่มพื้นที่ในการชนกันมากกว่า (Moosai และ Dawe, 2003)



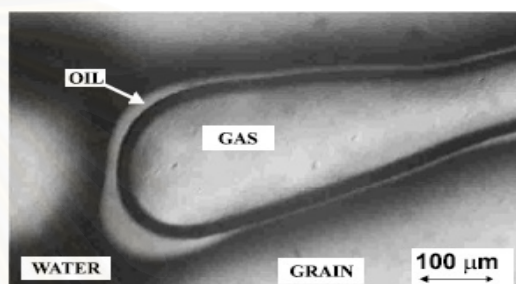
รูปที่ 2.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่ของฟองอากาศ กับขนาดของฟองอากาศ (Jameson, 1999)



รูปที่ 2.24 การเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันและฟองอากาศ (Moosai และ Dawe, 2003)



รูปที่ 2.25 แสดงลักษณะการชนและเกาะติดระหว่างฟองอากาศกับหยดน้ำมัน (Grattoni, Moosai และ Dawe, 2003)



รูปที่ 2.26 การเกาะติดระหว่างฟองอากาศกับหยดน้ำมัน (Grattoni, Moosai และ Dawe, 2003)

## 2.6 การศึกษาด้านอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศ (Bubble hydrodynamic)

2.6.1 ขนาดฟองอากาศ,  $D_b$  (Bubble diameter) การวัดขนาดฟองอากาศที่อัตราการไหลของอากาศ ( $Q_g$ ) ใดๆสามารถทำได้โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย (Image Treatment Techniques) ทำการเก็บและวิเคราะห์ภาพของฟองอากาศจำนวน 100-150 ฟอง ต่อการศึกษาที่อัตราการไหลอากาศ ( $Q_g$ ) ต่างๆเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนที่น่าเชื่อถือทางสถิติ โดยในงานวิจัยนี้ขนาดฟองอากาศโดยเฉลี่ย ( $d_{avg}$ ) สามารถหาดังได้สมการ (2.20)

$$d_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N} \tag{2.20}$$

$d_i$  = ขนาดฟองอากาศ (มม.)

การเปลี่ยนแปลงขนาดของฟองอากาศจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการไหลของอากาศ โดยอัตราการไหลของอากาศต่ำขนาดฟองอากาศค่อนข้างคงที่ กล่าวคือขนาดของรูเดิม

อากาศ (Orifice) เป็นตัวกำหนดขนาดของฟองอากาศ เมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้ขนาดของฟองอากาศมีขนาดที่เพิ่มสูงขึ้น นับเป็นผลเนื่องจากการชนและการรวมตัวของฟองอากาศ

2.6.2 ความเร็วในการลอยตัวของฟองอากาศ,  $U_B$  (Bubble rising velocity) จาก (Painmanakul และคณะ, 2005) ความเร็วในการลอยตัวของฟองอากาศหาได้จากการทดลอง โดยใช้กล้องถ่ายภาพฟองอากาศที่ลอยตัวขึ้นในถังปฏิกรณ์ เพื่อวิเคราะห์หาระยะทางที่ฟองอากาศลอยขึ้น ( $\Delta D$ ) ณ ช่วงเวลาหนึ่งๆ หรือ ณ ช่วงเวลาการเก็บภาพของกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง ( $t_{frame}$ ) โดยค่าของความเร็วในการลอยตัวของฟองอากาศ ( $U_B$ ) สามารถหาดังได้สมการ (2.21)

$$U_B = \frac{\Delta D}{t_{frame}} \quad (2.21)$$

$U_B$  = ความเร็วในการลอยตัวของฟองอากาศ (ม. /วินาที)

$\Delta D$  = ระยะทางที่ฟองอากาศลอยขึ้น (ม.)

$t_{frame}$  = ช่วงเวลาการเก็บภาพของกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง

นอกจากการหาความเร็วในการลอยตัวของฟองอากาศด้วยการทดลองแล้วสามารถวิเคราะห์ค่าความเร็วในการลอยตัวของฟองอากาศ ( $U_B$ ) ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการลอยตัวและขนาดของฟองอากาศ จากการศึกษาของ Grace and Wairegi, 1986 รวมไปถึงโมเดลทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 โมเดลทางคณิตศาสตร์คำนวณความเร็วในการลอยตัวของฟองอากาศ (Painmanakul และคณะ, 2005)

No.	Correlation for predicting bubble rising velocity	Conditions
1	$U_B = \frac{g\Delta\rho d_B^2}{12\mu_L}$	$Re < 250, \frac{\mu_G}{\mu_L} = 0$
2	$U_B = \frac{g\Delta\rho d_B^2}{18\mu_L}$	$Re < 250, \frac{\mu_G}{\mu_L} \rightarrow \infty$
3	$U_B = \frac{\mu_L}{\rho_L d_B} (J - 0.857) M_o^{-0.149}$	$250 < Re < 6000$
4	$U_B = \left( \frac{2}{d_B r} + 0.5 d_B g \right)^{0.5}$	$0.2 \leq d_B \leq 8cm$
5	Experimental curve for predicting the bubble rising velocity	

การเปลี่ยนแปลงความเร็วของฟองอากาศมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดฟองอากาศ กล่าวคือเมื่อขนาดฟองอากาศเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้ความเร็วของฟองอากาศสูงขึ้น

2.6.3 ความถี่ในการเกิดฟอง,  $f_B$  (bubble formation frequency) ความถี่ในการเกิดฟอง คือจำนวนฟองที่เกิดขึ้นในเวลา 1 วินาที ซึ่งคำนวณได้จากอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านหัวเติมอากาศแล้วหารด้วยปริมาตรของฟองอากาศ (Painmanakul และคณะ, 2005) สามารถหาดังได้สมการ (2.22)

$$f_B = \frac{Qg}{V_B} \quad (2.22)$$

$$\begin{aligned} f_B &= \text{ความถี่ในการเกิดฟอง (วินาที}^{-1}\text{)} \\ Qg &= \text{อัตราการไหลของอากาศที่ (ม.}^3\text{/วินาที)} \\ V_B &= \text{ปริมาตรของฟองอากาศ (ม.}^3\text{)} \end{aligned}$$

การเปลี่ยนแปลงความถี่ในการเกิดฟองอากาศจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการไหลของอากาศ โดยอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลทำให้ความถี่ในการเกิดฟองอากาศเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลของความถี่ในการเกิดฟองอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มโอกาสในการชนกันระหว่างฟองอากาศกับฟองอากาศทำให้ขนาดของฟองอากาศเพิ่มสูงขึ้น

2.6.4 พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ (interfacial area,  $a$ ) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการศึกษาการถ่ายเทมวลสาร โดยเป็นสัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของฟองอากาศต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ ณ เวลาใดๆ ดังนั้น ค่า  $a$  สามารถคำนวณได้จากจำนวนฟองอากาศ ( $N_B$ ) คูณกับพื้นที่ผิวของฟองอากาศ ( $S_B$ ) โดยพิจารณาให้ฟองอากาศมีรูปร่างเป็นทรงกลมแล้วหารด้วยปริมาตรของถังปฏิกรณ์ทั้งหมด ( $V_{\text{total}}$ ) สำหรับการคำนวณจำนวนฟองอากาศ ( $N_B$ ) นั้นคำนวณจากความถี่ในการเกิดฟอง ( $f_B$ ) คูณกับระยะเวลาที่ฟองอากาศอยู่ในถังปฏิกรณ์ ( $T_B$ ) ของฟองอากาศหนึ่งๆ ในถังปฏิกรณ์ โดยสมการในการคำนวณค่า  $f_B$ ,  $T_B$  และ  $N_B$  สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$N_B = f_B \times T_B = f_B \times \left( \frac{H_L}{U_B} \right) \quad (2.23)$$

ดังนั้น ค่าของพื้นที่ผิวสัมผัสโดยรวมของฟองอากาศจากกระบวนการเติมอากาศในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำนมด้วยกระบวนการทำให้ลอยตัว สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.24

$$a = N_B \times \frac{S_B}{V_{TOTAL}} = f_B \times \frac{H_L}{U_B} \times \frac{S_B}{V_{TOTAL}} \quad (2.24)$$

a	=	พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ (ม. <sup>-1</sup> )
N <sub>B</sub>	=	จำนวนฟองที่เกิด
S <sub>B</sub>	=	พื้นที่ผิวของฟองทั้งหมด(ม. <sup>2</sup> )
V <sub>Total</sub>	=	ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ทั้งหมด(ม. <sup>3</sup> )
f <sub>B</sub>	=	ความถี่ในการเกิดฟอง (วินาที <sup>-1</sup> )
H <sub>L</sub>	=	ความสูงของของเหลว (ม.)
U <sub>B</sub>	=	ความเร็วที่เกิดฟอง (ม. /วินาที)
D <sub>B</sub>	=	เส้นผ่านศูนย์กลางฟอง(ม.)
A	=	พื้นที่หน้าตัดของถังปฏิกรณ์(ม. <sup>2</sup> )
V <sub>B</sub>	=	ปริมาตรฟอง (ม. <sup>3</sup> )

ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะจัดเป็นพารามิเตอร์ความสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันโดยรวม โดยค่าที่สูงขึ้นนอกจากส่งผลต่อการเพิ่มโอกาสในการสัมผัสระหว่างฟองอากาศกับอนุภาคน้ำมันทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มสูงขึ้น (Painmanakul และคณะ, 2005)

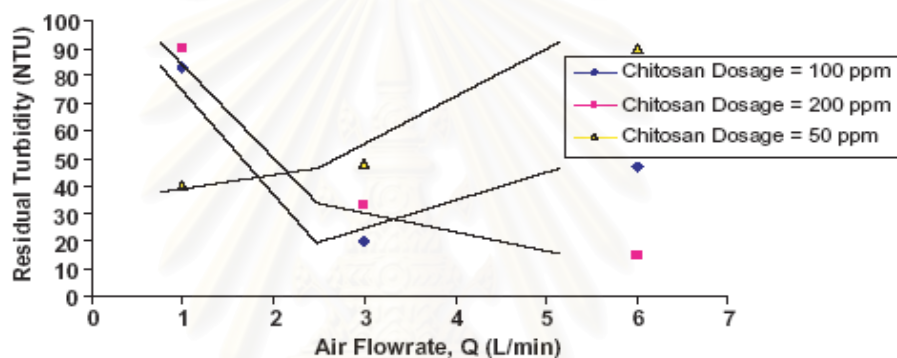
## 2.7 กระบวนการ Modified Induced Air Flotation (MIAF)

กระบวนการ MIAF เป็นกระบวนการที่มีการนำสารเคมีในกลุ่มดีมัลซิฟายเออร์ โคแอกกูแลนต์ และสารลดแรงตึงผิวมาใช้ร่วมกับกระบวนการทำให้ลอยเพื่อเป็นการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด โดยการเติมสารเคมีเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันในกระบวนการทำให้ลอยซึ่งส่งผลทำให้ขนาดของหยดน้ำมันมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยขนาดของหยดน้ำมันที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นสิ่งสำคัญตามสมการของ Stokes ผลของการใช้สารเคมีจะไปทำให้เกิดการลดลงของแรงผลักดันทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จากประจุชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของหยดน้ำมัน เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการขัดขวางการรวมตัวของหยดน้ำมัน

เนื่องจากน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมันในรูปอิมัลชันรวมตัวของหยดน้ำมันเกิดขึ้นนั้น ได้ยากจึงต้องมีการทำลายเสถียรภาพเพื่อช่วยทำให้น้ำมันมีขนาดใหญ่ขึ้น กระบวนการนี้สามารถทำได้โดยใช้สารเคมี เช่น สารประกอบอิลิกโคไลด์ สารลดแรงตึงผิว อลูมิเนียมซัลเฟต เกลือเพอริก

วัตถุประสงค์หลักของการใช้สารเคมีเพื่อเป็นการปรับปรุงประจุพื้นผิวบนอนุภาคของหยดน้ำมัน และพื้นผิวระหว่างหยดน้ำมันและฟองอากาศ โดยที่ประจุตรงข้ามกับพื้นผิวของหยดน้ำมันของสารเคมีจะไปเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดสภาพเป็นกลางทางประจุไฟฟ้า (Neutralization) บนพื้นผิวของหยดน้ำมันและสามารถเกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มฟลอคของหยดน้ำมันที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ฟองอากาศเคลื่อนที่เข้าใกล้กันได้ง่าย และถูกจับด้วยฟองอากาศเคลื่อนที่ลอยตัวเร็วยิ่งขึ้น (นุชฎีกร, 2547)

Meysami และKasaeian (2005) ได้ทำการศึกษาการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันมะกอกด้วยกระบวนการ IAF ร่วมกับ ไคโตซาน (Chitosan) จากการศึกษาพบว่า มีประสิทธิภาพสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ไคโตซานที่ค่าความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ค่าพีเอชเท่ากับ 8 อัตราการไหลอากาศ 3 ลิตรต่อนาที และทำการให้ลอยนาน 45 นาที ผลการทดลองดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 ผลการศึกษาการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมัน (Meysami และ Kasaeian, 2005)

ข้อเสียของการใช้สารดีอิมัลซิฟายเออร์โคเอกกูแลนท์และสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากสารเหล่านี้เป็นสารที่นิยมใช้ชื่อทางการค้าจึงไม่บอกรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลของผลิตภัณฑ์มากนักซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเลือกใช้สารเคมีให้มีความเหมาะสมสูงสุดและเกิดค่าใช้จ่ายต่ำสุด วิธีที่ใช้ในการหาปริมาณสารเคมีให้มีความเหมาะสมสามารถทำได้โดยใช้วิธีจาร์เทสต์หรือการทดลองการเติมอากาศ ปัญหาอีกอย่างของการใช้สารลดแรงตึงผิวโดยสารลดแรงตึงผิวจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้ความเข้มข้นที่จุด Critical Micelle Concentration (CMC) มีความแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของสารลดแรงตึง และลักษณะของน้ำเสีย ค่า CMC เป็นค่าที่แสดงว่าสารลดแรงตึงผิวไปเกาะบนผิวของหยดน้ำมันแบบ Monolayer ในกรณีที่มีการใช้สารลดแรงตึงผิวมากกว่าค่า CMC จะส่งผลทำให้ทำให้หยดน้ำมันกลับมามีประจุเพิ่มขึ้น บนพื้นผิวเกิดสภาพความเสถียรขึ้น ใหม่ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในกระบวนการแยกลดลง

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.8.1 การศึกษาการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ น้ำมันด้วยสารเคมี

Deng และคณะ (2005) นำน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตที่มีการใช้อัลคาไล สารลดแรงตึงผิวและโพลีเมอร์ (ASP flooding) เป็นน้ำเสียที่ยากต่อการบำบัดเนื่องจากมีสารเคมีเหลือค้างอยู่ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิต โดยสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อความเสถียรของหยดน้ำมัน มีผลต่อการลดลงของแรงตึงผิวของน้ำ และงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการฟลอคคูเลชัน และดีมัลซิฟิเคชัน โดยทำการทดสอบด้วยวิธีจาร์เทสต์

ผลการศึกษการบำบัดด้วยกระบวนการฟลอคคูเลชัน พบว่าการใช้ พีเอซี 600 มิลลิกรัมต่อลิตร และโพลีเมอร์ที่มีประจุบวก (Cationic polyacrylamide) 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหลังจาก 4 ชั่วโมง ลดลงเหลือ 97 และ 95 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการศึกษการบำบัดด้วยกระบวนการดีมัลซิฟิเคชัน พบว่าสารดีมัลซิฟายเออร์ (DODY68) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมัน เมื่อทำการเติมสารดีมัลซิฟายเออร์ (DODY68) ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ลดความเข้มข้นของน้ำมันลดลงเหลือ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร ขนาดของหยดน้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 8.89 มาเป็น 28.6 ไมโครเมตร แรงตึงผิวลดลงจาก 3.52 มาเป็น 1.35 มิลลินิวตันต่อเมตร

จากงานวิจัยนี้ พบว่า ข้อดีของการใช้สารดีมัลซิฟายเออร์ และสารโคแอกกูแลนซ์จะทำให้เกิดการลดลงของประจุไฟฟ้าบนพื้นผิวของอนุภาคน้ำมัน ซึ่งเป็นผลดีต่อการรวมตัวของอนุภาคน้ำมันส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการแยกเพิ่มสูงขึ้น

Pinotti, Bevilacqua และ Zaritzky (1997) ทำการศึกษาถึงปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ ไคโตซานในการศึกษาทำลายประจุด้วยกระบวนการฟลอคคูเลชันโดยทำการทดสอบด้วยวิธีจาร์เทสต์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนน้ำมันดอกทานตะวันในรูปอิมัลชันโดยพามีเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของเกลือ ค่าพีเอช ขนาดของหยดน้ำมัน ความเข้มข้นของน้ำมันชนิดของสารลดแรงตึงผิว และระยะเวลาที่ใช้ในการกวนผสม

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อทำการเติมไคโตซาน 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ค่าความขุ่นและประจุไฟฟ้ามีค่าลดลงต่ำสุดนอกจากนี้ โซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ประจุของสารลดแรงตึงผิวบนหยดน้ำมันลดลงส่งผลทำให้ปริมาณการใช้ไคโตซานลดลงและพบว่าการกวนช้านาน 3.75 นาที มีความเหมาะสมสูงสุดในการทำกระบวนการฟลอคคูเลชันด้วยไคโตซาน



จากงานวิจัยนี้พบว่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในระบบวนการโคแอกกูเลชัน ได้แก่ ค่าพีเอช ความเข้มข้นของเกลือ ความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ มีผลโดยตรงต่อการลดลงของประจุไฟฟ้าและค่าความขุ่นของอนุภาคน้ำ มันส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบวนการแยกเพิ่มสูงขึ้น

## 2.8.2 การศึกษาการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ มันด้วยสารเคมีร่วมกับการทำให้ลอย

Al-Shamrani, James และ Xiao (2002) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ มันในรูปอิมัลชันซึ่งถูกทำให้เสถียรโดยสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Span 20) และทำการแยกด้วยระบบวนการ DAF โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. การศึกษาชนิดและปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ที่มีความเหมาะสม ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต และเฟอร์ริกซัลเฟต
2. การศึกษาค่าความเร็วแกรเดียนท์ (วินาที<sup>-1</sup>) ที่เหมาะสมในการกวนช้า กวนเร็ว และระยะเวลาการกวนช้าที่เหมาะสมกับระบบวนการ DAF

ผลการทดลองพบว่าอะลูมิเนียมซัลเฟต และเฟอร์ริกซัลเฟต มีความสามารถในการบำบัดน้ำ มันได้ 99.3 และ 99.94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลของค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการกวนเร็ว และกวนช้าเท่ากับ 110 และ 12 วินาที<sup>-1</sup> ตามลำดับ และเวลาที่เหมาะสมสำหรับการกวนเร็ว และกวนช้า 120 วินาที และ 15-20 นาที ตามลำดับ ก่อนทำการแยกฟล็อกต์ด้วยระบบวนการ DAF โดยใช้เวลาการทำให้ลอย 7 นาที ที่ความดัน 80 พีเอสไอ และอัตราการไหลเวียนกลับ 10 เปอร์เซ็นต์

จากงานวิจัยนี้ พบว่าข้อดีของการใช้ระบบวนการฟล็อกคูเลชันก่อนทำการแยกด้วยระบบวนการ DAF ส่งผลทำให้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดเพิ่มสูงขึ้น ข้อเสียของระบบวนการ DAF เป็นระบบวนการที่ไม่ทำให้เกิดการกวนผสมจึงจำเป็นต้องมีระบบวนการฟล็อกคูเลชันก่อน ซึ่งเป็นผลเสียในการเดินระบบที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้น

Da Rosa และ Rubio (2005) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ระบบวนการฟล็อกคูเลชันร่วมกับการทำให้ลอย (Flocculation-flotation, FF process) โดยใช้ร่วมกับอุปกรณ์ทำให้เกิดฟล็อกที่มีรูปทรงต่างๆ แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 การทดลอง

1. การศึกษาการแยกน้ำ มันในรูปอิมัลชันออกจากตัวอย่างน้ำ เสียสังเคราะห์ ปัจจุบันที่ทำการศึกษา รูปแบบอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดฟล็อกมีลักษณะเป็นท่อตรงขนาด 1, ¾ และ ½ ท่อซิกแซกที่มี 10 และ 20 รอยพับ และ ค่าการสูญเสีย (Head loss)

2. การศึกษาการแยกน้ำ น้ำมันปิโตรลียมชั้นออกจากตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการกลั่นโดยปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ความสามารถในการกำจัดความขุ่น น้ำมัน ของแข็งแขวนลอย และอนุภาคสารอินทรีย์
3. การศึกษาความสามารถกระบวนการ FF ในการแยกของแข็งแขวนลอย ชนิดของแข็งแขวนลอย Bentonite, Quartz, Coal beneficiation tailings และ Hematite
4. การศึกษาความสามารถในการบำบัดอนุภาคคอลลอยด์ โดยเติมเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 6 และที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างๆ

ผลการศึกษาอุปกรณ์ทุกชนิดที่ใช้ในการทำให้เกิดฟล็อกมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ค่าการสูญเสีย (Head loss) ที่สูงขึ้นส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น กระบวนการ FF มีความสามารถโดยในการบำบัดความขุ่น น้ำมัน ของแข็งแขวนลอยได้ 80-90 เปอร์เซ็นต์ (ยกเว้นของแข็งแขวนลอย Bentonite) และอนุภาคสารอินทรีย์สามารถบำบัดได้ 50 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าสามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ได้ดีขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวสูงขึ้น

จากงานวิจัยนี้ พบว่าค่าของการสูญเสียที่เกิดขึ้น จากขนาด และรอยพับของอุปกรณ์ทำให้เกิดฟล็อก (Flocculators) ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการบำบัด แต่ประสิทธิภาพของการบำบัดจะขึ้นอยู่กับปริมาณของฟล็อกคูแลนท์ และสารลดแรงตึงผิว

Féris และคณะ (2004) งานวิจัยนี้ทำการศึกษารูปร่างกระบวนการดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับ ได้แก่ ถ่านหิน (Coal) และ Coal beneficiation tailing (CBT) ร่วมกับกระบวนการทำให้ลอย 3 ชนิด Induced Air Flotation (IAF), Modify Jet Flotation (MJF) และ Dissolved Air Flotation (DAF) เพื่อทำการบำบัดน้ำมัน โลหะหนัก สีย้อม โดยทำการศึกษา

ผลการทดลองพบว่า ถ่านหินมีความสามารถในการกำจัดน้ำมันได้ 96 และ 74 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ IAF และ MJF ตามลำดับ CBT มีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักและสีย้อม น้ำมันและโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรมเท่ากับ 85, 75 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ Bentonites มีความสามารถในการบำบัดสีย้อม 95-100 เปอร์เซ็นต์ในกระบวนการ IAF

จากงานวิจัยนี้ พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดด้วยกระบวนการ APF-IAF กับกระบวนการ APF-DAF ซึ่งในกระบวนการ APF-IAF มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าเป็นอันผลเนื่องมาจากความสามารถในการปั่นกววนมีสูงกว่าทำให้อนุภาคที่มีความสามารถในการดูดซับสามารถสัมผัสอนุภาคของน้ำมัน และโลหะหนักได้จนถึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

Meysami และ Kasaeian (2005) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการเติมอากาศ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน

1. การศึกษาการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ ทำการเตรียมโดยใช้น้ำมันมะกอกผสมกับสารลดแรงตึงผิว 6 ชนิด ทำการทดสอบด้วยการวัดค่าความขุ่นจากการทดลองพบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิด เอสดีเอสมี ความเหมาะสมสูงสุดโดยค่าความขุ่นสูงสุด

2. การศึกษาสภาวะที่มีความเหมาะสมในการทำสายเสถียรภาพของอิมัลชัน ด้วยทดสอบจาร์เทสต์ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นโคแอกกูแลนต์ (โคโคซาน สารส้ม น้ำ แป้ง และเฟอริกคลอไรด์) และค่าพีเอช

3. การศึกษากระบวนการเติมอากาศที่มีผลต่อการทำลายสภาพอิมัลชันปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราการไหลอากาศ ระยะเวลาการเติมอากาศ และผลของอุณหภูมิ

ผลการทดลองด้วยวิธีจาร์เทสต์พบว่าปริมาณ โคโคซาน และสารส้มที่เหมาะสม 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วนที่พีเอช 6 ตามลำดับ การศึกษาความเหมาะสมของการเติมอากาศพบว่าสภาวะที่มีความเหมาะสมสูงสุดใช้ปริมาณโคโคซาน 100 ส่วนในล้านส่วน อัตราการไหลอากาศ 3 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาการเติมอากาศนาน 45 วินาที อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และที่พีเอช 6 มีความสามารถในการบำบัดได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์

จากงานวิจัยนี้ พบว่าการบำบัดด้วยกระบวนการ AF ประสิทธิภาพของการบำบัดจะขึ้นอยู่กับ ชนิดและความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์ ค่าพีเอช อัตราการไหลอากาศ ระยะเวลาในการเติมอากาศ ส่วนกระบวนการ IAF จะทำหน้าที่สำคัญในการกวนผสมและช่วยให้เกิดการลอยตัวแยกของอนุภาคน้ำมัน

เกียรติพงษ์ (2546) ทำการศึกษาประสิทธิภาพ และสภาวะที่มีความเหมาะสมของการกำจัดน้ำมันสำหรับน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการ AF โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน ประกอบด้วยค่าพีเอช และปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ ส่วนการทดลองที่ 2 ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการ DAF ได้แก่ ความดัน ปริมาตรของฟองอากาศ และปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ จากนั้นทำการศึกษาต่อด้วยกระบวนการ DAF แบบโคแอกเซียล DAF คอลัมน์ โดยมีการปรับเปลี่ยนภาวะทางชลศาสตร์ให้มีความเหมาะสม

จากการทดลองพบว่า ในการทดลองที่ 1 ค่าพีเอชเท่ากับ 6 ปริมาณสารส้ม 20 มิลลิกรัมต่อลิตร โพลีเมอร์ประจุลบเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ซีไอดี และน้ำมัน ได้ร้อยละ 89.6, 3.6, 51.8 และ 81.4 ตามลำดับ

ส่วนการทดลองที่ 2 พบว่า ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 ปริมาณสารส้ม 20 มิลลิกรัมต่อลิตร โพลีเมอร์ประจุลบเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความดัน 5 บาร์ และความเข้มข้นของปริมาตรฟองอากาศเท่ากับ 11 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ซีไอดี และน้ำมัน ได้ร้อยละ 86.5, 6.4, 49.2 และ 87.2 ตามลำดับ จากการทดสอบด้วยกระบวนการ DAF และกระบวนการโคแอกเซียล DAF คอลัมน์ ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 ปริมาณสารส้ม 20 มิลลิกรัมต่อลิตร โพลีเมอร์ประจุลบเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความดัน 9 บาร์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ซีไอดี และน้ำมัน ได้ร้อยละ 88.6, 11.6, 39.1 และ 80.6 ตามลำดับ

จากงานวิจัยนี้ พบว่ากระบวนการโคแอกเซียลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยกระบวนการ DAF และกระบวนการโคแอกเซียล DAF เพิ่มสูงขึ้น แต่มีข้อเสียที่การใช้กระบวนการ DAF ทั้งสองแบบในการบำบัด และกระบวนการแยกให้ได้ประสิทธิภาพตามต้องการต้องใช้ค่าความดันอากาศที่สูงถึง 9 บาร์ ซึ่งส่งผลเสียทำให้ต้องสูญเสียพลังงานในการเดินระบบมาก

ชูลีกร (2547) ทำการทดลองเพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปอิมัลชันของน้ำเสียโดยกระบวนการอินดิวิจแอโรโฟลเทชัน ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ทวิน 80 สารลดแรงตึงผิวชนิดมีประจุบวก ซีเทบ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ เอสดีเอส และสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่างซีเทบ กับ ทวิน 80 ที่อัตราส่วน (2:8) (5:5) และ (8:2) ซึ่งใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

2. ชนิดและความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ ค่าพีเอช อัตราการไหลอากาศ ขนาดของฟองอากาศ เวลาที่ใช้ในการเติมอากาศ ค่าซีตาโพเทนเชียล ความขุ่น และค่าการดูดกลืนแสง

ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่มีความเหมาะสมขึ้นกับชนิดของสารลดแรงตึงผิวและปริมาณของสารอิเล็กโทรไลต์ เช่น ทวิน 80 1 เท่าของค่าซีเอ็มซี (Critical Micelle Concentration , CMC) และอลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีเทบ 0.25 เท่าของค่าซีเอ็มซี และอลูมิเนียมซัลเฟต 480 มิลลิกรัมต่อลิตร เอสดีเอส 0.25 เท่าของค่าซีเอ็มซี และอลูมิเนียมซัลเฟต 280 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีเทบ:ทวิน 80 (5:5) 1 เท่าของค่าซีเอ็มซี และอลูมิเนียมซัลเฟต 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีเทบ:ทวิน 80 (8:2) 1 เท่าของค่าซีเอ็มซี โดยผลของค่าพีเอช ที่เหมาะสมอยู่ที่ 7 ในขณะที่ใช้เอสดีเอส ค่าพีเอช ที่เหมาะสมเท่ากับ 4 จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศ 8 มิลลิลิตรต่อวินาที ขนาดของฟองอากาศอยู่ในช่วง 615-688 ไมโครเมตร และเวลาในการเติมอากาศ 20 นาที นอกจากนี้ประจุบวกจากอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มีผลในการทำลายเสถียรภาพของน้ำมันที่มีความเสถียร จากการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระบวนการ IAF สามารถขจัดน้ำมันที่มีความเสถียรในรูปอิมัลชันออกจากน้ำเสียได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์

จากงานวิจัยนี้ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามัน ด้วยกระบวนการ IAF ได้แก่ ค่าพีเอช ความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ อัตราการไหลอากาศ ระยะเวลาในการทำให้ลอย และขนาดของฟองอากาศโดยแนวโน้มของฟองอากาศที่มีขนาดเล็กจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในกระบวนการแยกที่ดีกว่าฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าในกรณีต้องการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวในรูปอิมัลชันที่มีเสถียรภาพสูงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ค่า pH ที่เหมาะสม ปริมาณและของสารโคแอกกูแลนต์ ชนิดของกระบวนการบำบัด เช่น กระบวนการโคแอกกูแลชัน DAF และ IAF โดยงานวิจัยที่ผ่านมายังขาดองค์ความรู้ในด้านกลไกการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของบำบัด เช่น ในงานวิจัยที่มีการศึกษาการใช้ปริมาณ และชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ และตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์ เช่น ขนาดฟองอากาศ ความเร็วฟองอากาศ พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะฟองอากาศความเร็วแกระเดียนท์ เช่น ในงานวิจัยที่มีการศึกษาการบำบัดด้วยกระบวนการเติมอากาศ เช่น กระบวนการ IAF

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดของกระบวนการ IAF โคแอกกูแลชัน และ MIAF ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, Tween 20 และ CTAB

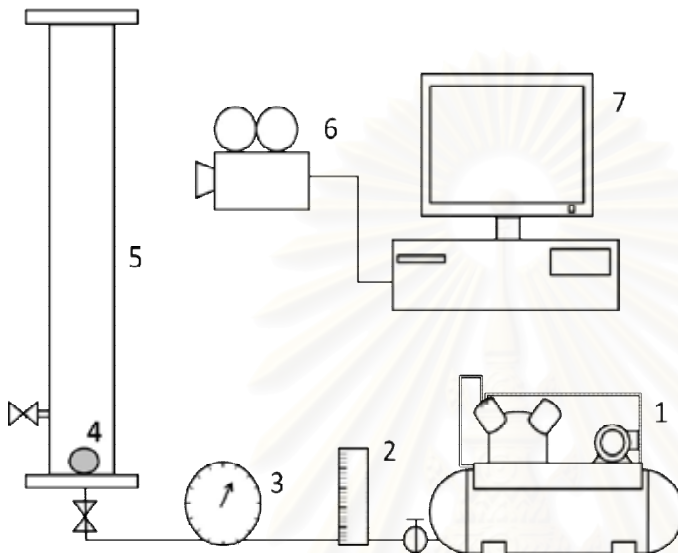
- กระบวนการโคแอกกูแลชันปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ค่า pH ชนิด และปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์
- กระบวนการ IAF ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราการไหลอากาศ จลนศาสตร์ และตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์ของกระบวนการบำบัด
- กระบวนการ MIAF ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราการไหลอากาศ ปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ จลนศาสตร์ และตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์ของกระบวนการบำบัด

จากการศึกษาความสัมพันธ์ด้านจลนศาสตร์ และตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นทำให้สามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาสร้างควมสมการในการทำนายประสิทธิภาพของกระบวนการบำบัดได้ โดยรายละเอียดการทดลองแสดงในหัวข้อที่ 3.4

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การจัดอุปกรณ์การทดลองการทำให้ลอย และการเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3.1 วิธีการต่อชุดการทดลองการทำให้ลอย



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์สร้างฟองอากาศ

ชุดอุปกรณ์ทดลองการทำให้ลอย 1) เครื่องเติมอากาศ 2) เครื่องวัดอัตราการไหลอากาศ 3) เครื่องวัดความดัน 4) หัวเติมอากาศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร 5) คอลัมน์ ทำให้ลอยทำจากท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 2 เมตร ทำการเจาะรู สำหรับการเก็บตัวอย่างที่ความสูง 10 เซนติเมตร 6) กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง 7) คอมพิวเตอร์

วิธีการต่อชุดการทดลองทำการต่อเครื่องเติมอากาศผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล เครื่องวัดความดัน และเข้าสู่หัวเติมอากาศที่อยู่ด้านส่วนท้ายของ ท่อเติมอากาศ วิธีการเก็บตัวอย่างทำการเก็บตัวอย่างที่ความสูง 10 เซนติเมตร เหนือหัวเติมอากาศ

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

##### 3.2.1 เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

เครื่องวัดพีเอช (pH meter) บริษัท Scientific Promotion (ประเทศไทย) จำกัด รุ่น CG840

##### 3.2.2 เครื่องปั่น (Motor stirrer)

เครื่องปั่น (Motor stirrer) บริษัท เบคไทย (ประเทศไทย) จำกัด รุ่น IKA LABORTECHIK

### 3.2.3 เครื่องเติมอากาศ (Air Pump)

เครื่องเติมอากาศ (Air Pump) ยี่ห้อ Puma

### 3.2.4 กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope)

กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) บริษัท Olympus รุ่น BX50 ที่กำลังขยาย 60 เท่า ร่วมกับอุปกรณ์ช่วยวัดขนาดหยดน้ำ มา State micrometer

### 3.2.5 เครื่องวัดอัตราการไหลอากาศ

เครื่องวัดอัตราการไหลอากาศ บริษัท New Flow 0 – 10 ลิตรต่อนาที

### 3.2.6 เครื่องวัดความดัน

เครื่องวัดและควบคุมความดันบริษัท Nuova Fima 0 - 1 บาร์

### 3.2.7 ชุดทดสอบ Jar test

### 3.2.8 ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดค่า COD (มันซิน, 2546)

ทำการวิเคราะห์ค่า COD ด้วยวิธีแบบปิด (Closed Reflux)

- หลอดทดสอบ COD ขนาด 16 x 150 mm พร้อมฝาจุกเกลียวที่ทำด้วย TFE (Tetrafluoroethylene)

- ตู้อบ (Hot air oven) บริษัท Memmert รุ่น 600 ที่สามารถให้ความร้อนอยู่ระหว่าง  $150 \pm 2^{\circ} \text{C}$

- ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 และ 1000 ml

- กระจกตวง (Cylinder) ขนาด 200 ml

- ปิเปต (Pipet) ขนาด 20 ml

### 3.2.9 ชุดเติมอากาศ

ทำจากท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 2 เมตร ทำการเจาะรูสำหรับทำการเก็บตัวอย่างทุก 10 เซนติเมตร

### 3.2.10 หัวเติมอากาศ

- หัวเติมอากาศแบบหัวทราย (Sand diffuser) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร

## 3.3 สารเคมี

### 3.3.1 กรดซัลฟิวริก

กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) บริษัท J.T. Baker ความบริสุทธิ์ 98 %

### 3.3.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) บริษัท Carlo ERBA

### 3.3.3 สารโคแอกกูแลนต์ (Coagulants)

- เฟอริกคลอไรด์ (Ferric Chloride, FeCl<sub>3</sub>) บริษัท Carlo ERBA

- สารส้ม (Alum, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O) บริษัท Carlo ERBA

### 3.3.4 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

- Sodium laurylsulfate เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิด Anionic surfactant บริษัท Carlo ERBA

- Polyoxyethylene (20) Sorbitan monolaurate (Tween 20) เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิด Nonionic surfactant บริษัท Carlo ERBA

- Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิด Cationic surfactant บริษัท Carlo ERBA

### 3.3.5 โคแอกกูแลนต์เฮด (Coagulant aids)

- Polyacrylamide บริษัท Carlo ERBA

### 3.3.6 สาร Potassium Dichromate Digestion (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) บริษัท Carlo ERBA

### 3.3.7 สาร Ferrous Ammonium Sulfate (Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O) บริษัท Carlo ERBA

### 3.3.8 สารโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) บริษัท ERBA

### 3.3.9 น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับทำการเตรียมน้ำเสียตัวอย่างของบริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชนโดยลักษณะสมบัติของน้ำมันปาล์ม แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำมันปาล์มบริษัท มรกต อินดัสตรีส์

ตัวอย่าง	ค่าความหนาแน่น (g/ml) (ที่ 21 °C)	ค่าความหนืด (CP) (ที่ 21 °C)	ค่าความร้อน (kJ/kg)
น้ำมันปาล์ม	0.898	88.6	39,550

ที่มา: บริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน



### 3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดลองนี้ แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ส่วน หลักคือ

การทดลองที่ 1 เป็นการทดลองศึกษาความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว Sodium Dodecyl Sulphate (SDS) ชนิดประจุลบ Polysorbate 20 (Tween 20) ชนิดไม่มีประจุ และ Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB) ชนิดประจุบวก ที่เหมาะสม (1CMC) โดยทำการวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นเพื่อนำปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่มีความเหมาะสมมาใช้เตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปอิมัลชัน และทำให้เกิดหยดน้ำมันที่มีเสถียรภาพ (Stabilization) สูงสุดสำหรับเป็นตัวอย่างน้ำเสียในการทดลองศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันในรูปอิมัลชันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวด้วยกระบวนการ IAF โคแอกกูเลชัน และ MIAF ในลำดับต่อไป

การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด สำหรับการดำเนินงานวิจัย และการทดลองศึกษาลักษณะสมบัติของตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว

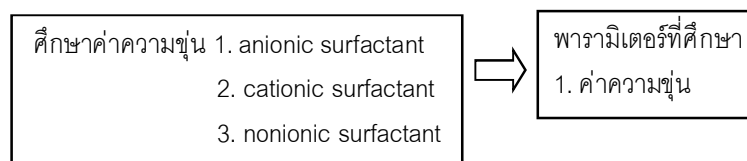
การทดลองที่ 3 เป็นการทดลองหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลอากาศ ระยะเวลาในการทำให้ลอย และขนาดของฟองอากาศที่เหมาะสมสูงสุด สำหรับการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการ AF

การทดลองที่ 4 เป็นการทดลองเพื่อหา ค่าพีเอช (pH) ปริมาณความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ สารโพลีเมอร์ (Polyacrylamide) และเกลือ ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันจากนั้น นำผลการทดลองที่ได้ ได้แก่ ค่า pH ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ ที่ความเหมาะสมมาประยุกต์ในการทดลองที่ 5 ต่อไป

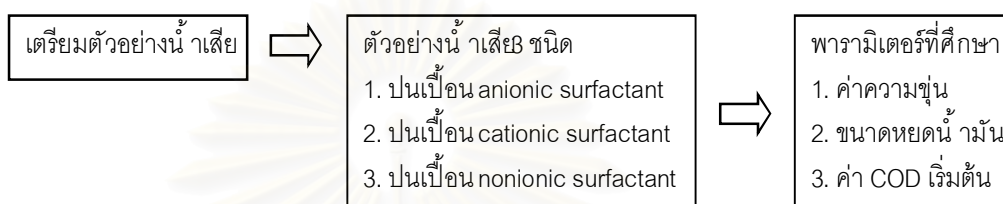
การทดลองที่ 5 เป็นการทำการทดลองศึกษาความสัมพันธ์อัตราการไหลอากาศ ระยะเวลาในการทำให้ลอย ขนาดฟองอากาศ และปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ที่มีความเหมาะสมสูงสุด สำหรับการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการ MIAF โดยสามารถแสดงแผนผังสรุปขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยได้ดังรูปที่ 3.3

### วิธีการทดลอง

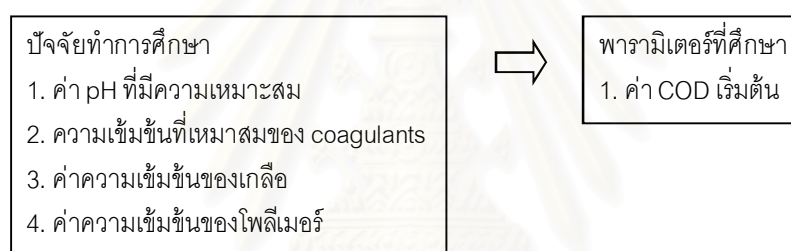
การทดลองที่ 1 การศึกษาค่าความขุ่นที่เหมาะสมสำหรับเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง



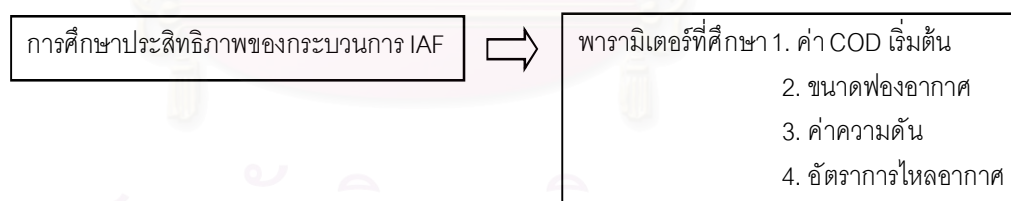
การทดลองที่ 2 การเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง



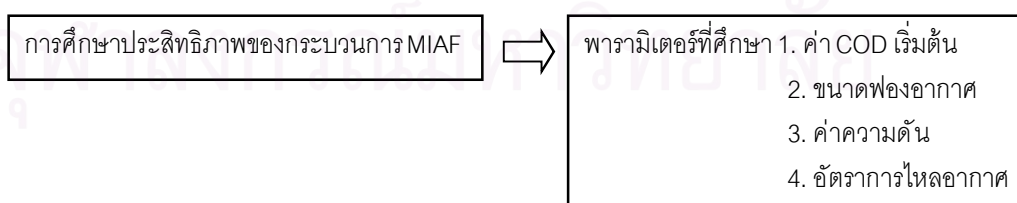
การทดลองที่ 3 การศึกษากระบวนการ Flocculation และ Coagulation



การทดลองที่ 4 การศึกษากระบวนการ IAF



การทดลองที่ 5 การศึกษากระบวนการ MIAF



รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงสรุปขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

### 3.4.1 การทดลองการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์

#### 3.4.1.1 การศึกษาค่าความขุ่นที่มีความเหมาะสม

เป็นการทดลองเพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ทำให้หยดน้ำมันเกิดเสถียรสภาพสูงสุด (1 CMC) ทำได้จากการหาค่าความขุ่นของสารลดแรงตึงผิวชนิด Sodium Dodecyl Sulphate (SDS), Polysorbate 20 (Tween 20) และ Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB) ในแต่ละตัวอย่างน้ำเสีย

วิธีการทดลอง

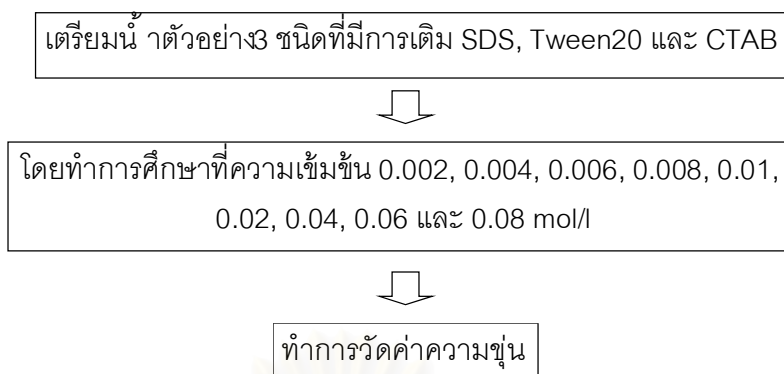
1. เติมน้ำมันปาล์มที่มีความเข้มข้น 0.5 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเติมสารลดแรงตึงผิวที่มีความเข้มข้น 0.002, 0.004, 0.006, 0.008, 0.01, 0.02, 0.04 และ 0.08 โมลต่อลิตร จากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำประปา

2. ทำการเขย่าตัวอย่างที่ 125 รอบต่อนาที นาน 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปทำการวัดค่าความขุ่น

สามารถสรุปตัวแปรการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับเตรียมตัวอย่างน้ำเสียได้ดังตารางที่ 3.1 และรูปแสดงขั้นตอนการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับเตรียมตัวอย่างน้ำเสียดังรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ปริมาตรน้ำตัวอย่าง	1. 100 มิลลิลิตร
2. ความเข้มข้นน้ำมัน	2. 5 กรัม/ลิตร
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ความเข้มข้น surfactant 3 ชนิด	1. 0.002-0.08 มิลลิกรัม/ลิตร
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. ค่าความขุ่น	1. ค่าความขุ่น



รูปที่ 3.4 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

#### 3.4.1.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์

การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, Tween 20 และ CTAB สำหรับการทดลองศึกษาการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ด้วยกระบวนการ IAF กระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการ MIAF

วิธีทำการทดลอง

1. เติมน้ำมันปาล์มที่มีความเข้มข้น 5 กรัม ลงในขวดสำหรับเตรียมตัวอย่างน้ำเสียขนาด 1 ลิตร เติมสารลดแรงตึงผิวที่มีความเข้มข้น 0.008, 0.004 และ 0.006 โมลต่อลิตร สำหรับ SDS, Tween 20 และ CTAB ตามลำดับ จากนั้น ปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำประปา

2. ทำการเขย่าตัวอย่างที่ 25 รอบต่อนาที นาน 30 นาที จากนั้น นำตัวอย่างที่ได้ไปทำการวัดค่าความขุ่นค่า COD และขนาดของหยดน้ำมัน

สามารถสรุปตัวแปรการศึกษาการเตรียมน้ำเสียตัวอย่างได้ดังตารางที่ 3.2 และรูปแสดงขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียตัวอย่างดังรูปที่ 3.5

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรการศึกษาการเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ปริมาณน้ำเสียตัวอย่าง 2. ความเข้มข้นน้ำมัน	1. 1 ลิตร 2. 5 กรัม/ลิตร
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ความเข้มข้น surfactant 3 ชนิด	1. 0.008, 0.004 และ 0.006 โมลต่อลิตร สำหรับ SDS, Tween 20 และ CTAB ตามลำดับ
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. ค่าความขุ่น 2. ค่า COD 3. ขนาดหยดน้ำมัน	1. ค่าความขุ่น 2. ค่า COD 3. ขนาดหยดน้ำมัน

การเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง โดยเติมน้ำมัน g/l และสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS 0.008 mol/l, Tween 20 0.004 mol/l และ CTAB 0.006 mol/l ทำการปรับปริมาตรเป็น 1 ลิด้วยน้ำประปา



ทำการกวนผสมที่ 125 รอบต่อนาที นาน 30 นาที



ทำการวัดค่า ความขุ่น ขนาดหยดน้ำมัน และ COD

รูปที่ 3.5 การเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง

### 3.4.2 การศึกษาการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการ AF

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสูงสุด เพื่อทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการ IAF โดยทำการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลอากาศในช่วง 0.025-0.7 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการเติมอากาศในช่วง 0-80 นาที และขนาดฟองอากาศที่มีความเหมาะสมสูงสุดต่อการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการ AF

3.4.2.1 การทดลองศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศ ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการAF

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศ ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการAF

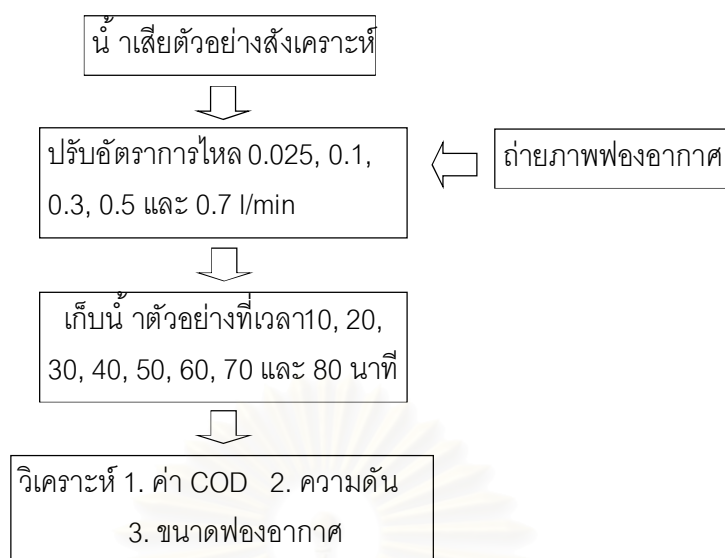
วิธีทำการทดลอง

1. นำตัวอย่างน้ำ าสีปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวเติมลงในชุดทดสอบการทำให้ลอย จากนั้นทำการเติมอากาศที่อัตราการไหล 0.025, 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ลิตรต่อนาที
2. ทำการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงที่อัตราการไหลอากาศ 0.025, 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ลิตรต่อนาที
3. ทำการเก็บตัวอย่างที่ความสูง 0.1 เมตร ที่เวลา 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 นาที จากนั้นนำตัวอย่างน้ำ าสีปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวที่ผ่านการบำบัดทำการวิเคราะห์ค่า COD

สามารถสรุปตัวแปรการศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศ ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการ IAF ได้ดังตารางที่ 3.3 และรูปแสดงขั้นตอนการทดลองศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศ และเวลาในการเติมอากาศในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการAF ดังรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรการศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศ ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการ IAF

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ปริมาตรน้ำ าสีปนเปื้อน	1. 2.7 ลิตร
2. ความเข้มข้นน้ำ ามัน	2. 5 กรัม/ลิตร
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. อัตราการไหลอากาศ	1. 0.025-0.7 ลิตร/นาที
2. เวลาในการเก็บ	2. 10-80 นาที
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. ค่า COD	1. ค่า COD
2. ค่าความดัน	2. ค่าความดัน
3. ขนาดฟองอากาศ	3. ขนาดฟองอากาศ



รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงการทดลองศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศ และเวลาในการเติมอากาศ ในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการAF

#### 3.4.2.2 การทดลองศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการ IAF ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามัน

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาระยะเวลาที่มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการ IAF ในการบำบัดตัวอย่างน้ำ าสีปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว

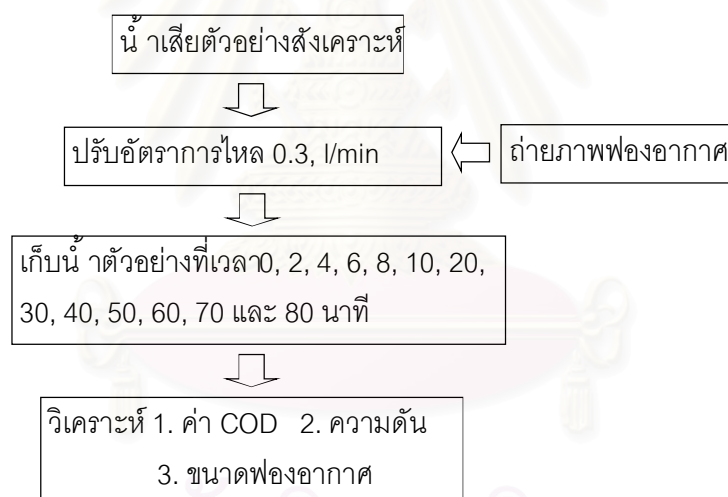
##### วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างน้ำ าสีปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวเติมลงในชุดทดสอบการทำให้ลอย จากนั้นทำการเติมอากาศที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที
2. ทำการเก็บตัวอย่างที่ความสูง 0.1 เมตร ที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 นาที จากนั้นนำตัวอย่างน้ำ าสีปนเปื้อนน้ ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวที่ผ่านการบำบัดไปทำการวิเคราะห์ค่า COD

สามารถสรุปตัวแปรการศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการ IAF ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันดังตารางที่ 3.4 และรูปแสดงขั้นตอนการศึกษาจลนศาสตร์การบำบัดของกระบวนการ IAF ได้ดังรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรการศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการ IAF ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมัน

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ปริมาณน้ำเสียตัวอย่าง	1. 2.7 ลิตร
2. ความเข้มข้นน้ำมัน	2. 5 กรัม/ลิตร
3. อัตราการไหล	3. 0.3 ลิตร/นาที
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. เวลาในการเก็บ	1. 0-80 นาที
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. ค่า COD	1. ค่า COD
2. ค่าความดัน	2. ค่าความดัน
3. ขนาดฟองอากาศ	3. ขนาดฟองอากาศ



รูปที่ 3.7 แผนผังแสดงการทดลองศึกษาจลนศาสตร์ ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการ AF

3.4.3 การทดลองศึกษาการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน การทดลองเพื่อหาค่าพีเอช ปริมาณความเข้มข้นของการใช้สารโคแอกกูเลนต์ ได้แก่ เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) และอะลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้ม ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , Alum)



ที่เหมาะสมต่อการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมัน รวมถึงผลกระทบของปริมาณโพลีเมอร์ (โคแอกกูแลนต์เอ็ด) และเกลือ ต่อปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้สำหรับการบำบัด

3.4.3.1 การทดลองศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีความเหมาะสมกับโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์

เป็นการทดลองศึกษาหาค่าพีเอช (pH) ที่มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูแลนต์ โดยใช้ สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ เป็นสารโคแอกกูแลนต์

วิธีทำการทดลอง

1. นำตัวอย่างน้ำ ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวเติมลงในบีกเกอร์ปริมาตร 1 ลิตร จากนั้น ทำการปรับค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ตามลำดับ

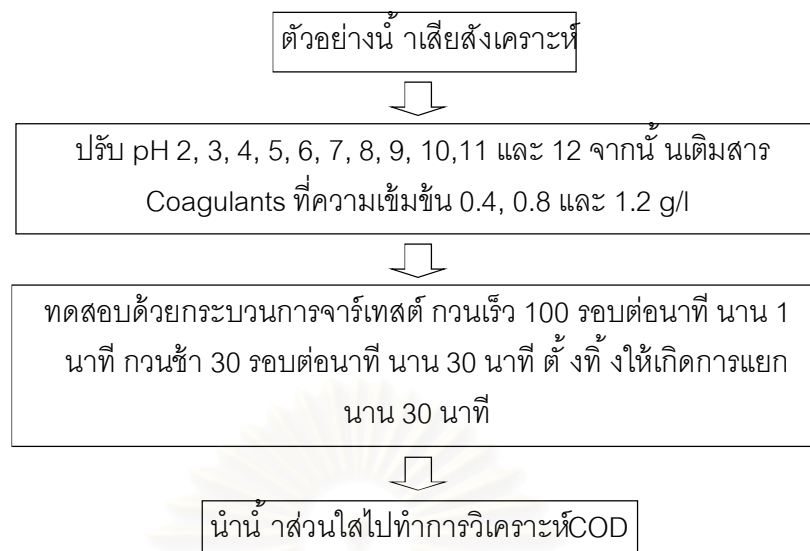
2. ทำการทดสอบด้วยวิธีจาร์เทสต์ โดยเติมสารส้มและเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4, 0.8 และ 1.2 กรัมต่อลิตร จากนั้นทำการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 1 นาที กวนช้า 30 รอบต่อนาที นาน 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกนา 30 นาที

3. นำตัวอย่างน้ำ ำเสียส่วนใสไปทำการวิเคราะห์ค่า COD

สามารถสรุปตัวแปรการศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีความเหมาะสมกับสารโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ได้ดังตารางที่ 3.5 และรูปแสดงขั้นตอนการทดลองศึกษาผลของค่าพีเอช ที่มีความเหมาะสมกับสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ดังรูปที่ 3.8

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรการศึกษาผลของค่าพีเอช ที่มีความเหมาะสมกับสารโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ปริมาตรน้ำ ำเสียตัวอย่าง	1. 1 ลิตร
2. ความเข้มข้นน้ำมัน	2. 5 กรัม/ลิตร
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ค่า pH เริ่มต้น	1. 2-12
2. ความเข้มข้นสาร Coagulants	2. 0.4, 0.8 และ 1.2 กรัม/ลิตร
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. ค่า COD	1. ค่า COD



รูปที่ 3.8 แผนผังแสดงการทดลองศึกษาผลของค่าพีเอช ที่มีความเหมาะสมกับ สารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์

3.4.3.2 การทดลองศึกษาผลของปริมาณ สารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ ที่เหมาะสมในการ ทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมัน

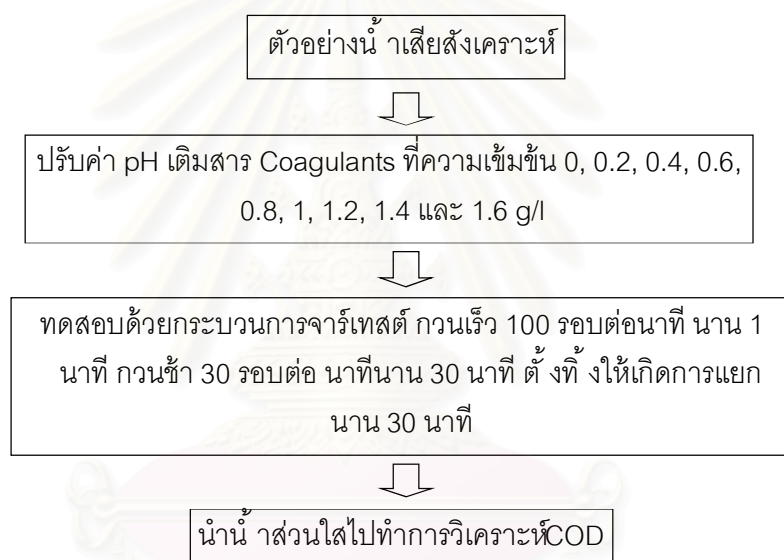
เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ ที่เหมาะสมใน การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว

วิธีทำการทดลอง

- นำตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวเติมลงในบีกเกอร์ปริมาตร ลิตร จากนั้นทำการปรับค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.3.1
- ทำการทดสอบด้วยวิธีจาร์เทสต์ โดยเติมสารส้มและเพอร์ริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 และ 1.6 กรัมต่อลิตร จากนั้น ทำการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 1 นาที กวนช้า 30 รอบต่อนาที นาน 30 นาที และตั้งทิ้งให้เกิด การแยกนาน 30 นาที
- นำตัวอย่างน้ำเสียส่วนใสไปทำการวิเคราะห์ค่า COD สามารถสรุปตัวแปรการศึกษาผลของปริมาณของโคแอกกูแลนต์ ที่เหมาะสมในการ ทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันดังตารางที่ 3.6 และรูปแสดงขั้นตอนการทดลองศึกษาผลของ ปริมาณสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันดังรูปที่ 3.9

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรการศึกษาผลของปริมาณของโคแอกกูแลนต์ ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมัน

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ปริมาณน้ำเสียตัวอย่าง 2. ความเข้มข้นน้ำมัน	1. 1 ลิตร 2. 5 กรัม/ลิตร
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ความเข้มข้นสาร Coagulants	1. 0-1.6 กรัม/ลิตร
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. ค่า COD	1. ค่า COD



รูปที่ 3.9 แผนผังแสดงการทดลองศึกษาผลของปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมัน

3.4.3.3 การทดลองศึกษาผลกระทบบของปริมาณเกลือ (NaCl) ที่มีผลต่อปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ สำหรับการบำบัด

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบบของปริมาณเกลือ (NaCl) ที่มีผลต่อปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว โดยการทดลองมีความคาดหวังว่าการเติมเกลือจะมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนกรโคแอกกูแลชั่น

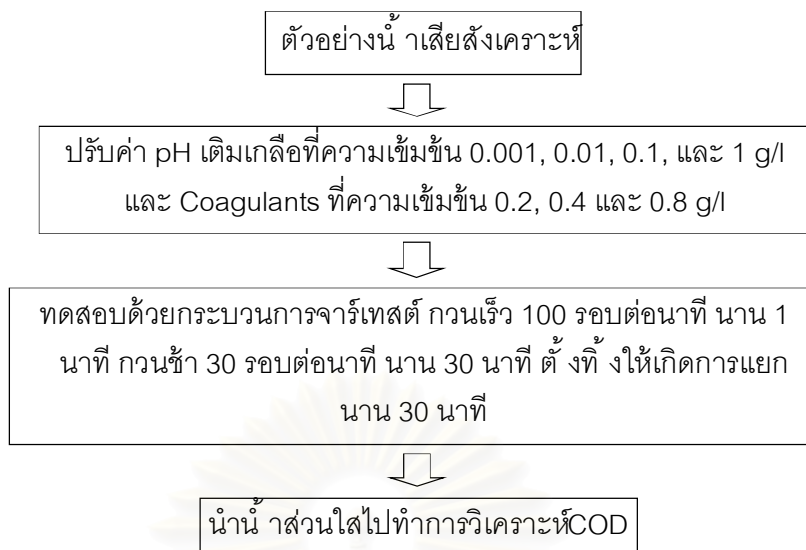
### วิธีทำการทดลอง

1. นำตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวเติมลงในบีกเกอร์ปริมาตร 1 ลิตร จากนั้นทำการปรับค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.3.1
2. ทำการเติมเกลือที่ความเข้มข้น 0.001, 0.01, 0.1 และ 1 กรัมต่อลิตร
3. ทำการทดสอบด้วยวิธีจาร์เจสท์ โดยเติมสารส้มและเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร จากนั้นทำการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 1 นาที กวนช้า 30 รอบต่อนาที นาน 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกนาน 30 นาที
4. นำตัวอย่างน้ำเสียส่วนใสไปทำการวิเคราะห์ค่า COD

สามารถสรุปตัวแปรการศึกษาผลกระทบของปริมาณเกลือ (NaCl) ที่มีผลต่อปริมาณสารโคแอกกูแลนต์สำหรับการบำบัด ได้ดังตารางที่ 3.7 และรูปแสดงขั้นตอนการศึกษผลกระทบของปริมาณเกลือ (NaCl) ที่มีผลต่อปริมาณสารโคแอกกูแลนต์สำหรับการบำบัดดังรูปที่ 3.10

ตารางที่ 3.8 ตัวแปรการศึกษาผลกระทบของปริมาณเกลือ (NaCl) ที่มีผลต่อปริมาณสารโคแอกกูแลนต์สำหรับการบำบัด

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ปริมาตรน้ำเสียตัวอย่าง	1. 1 ลิตร
2. ความเข้มข้นนํ้ามัน	2. 5 กรัม/ลิตร
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ความเข้มข้นสาร Coagulants	1. 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัม/ลิตร
2. ความเข้มข้นของเกลือ	2. 0.001-1 กรัม/ลิตร
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. ค่า COD	1. ค่า COD



รูปที่ 3.10 แผนผังแสดงการทดลองศึกษาผลกระทบของปริมาณเกลือ (NaCl) ที่มีผลต่อปริมาณของโคแอกกูแลนต์สำหรับการบำบัด

#### 3.4.3.4 การทดลองศึกษาผลกระทบของปริมาณโพลีเมอร์ ที่มีผลต่อปริมาณสารโคแอกกูแลนต์สำหรับการบำบัด

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณโพลีเมอร์ ที่มีผลต่อปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวโดยการทดลองมีความคาดหวังว่าการเติมโพลีเมอร์จะมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการโคแอกกูเลชัน

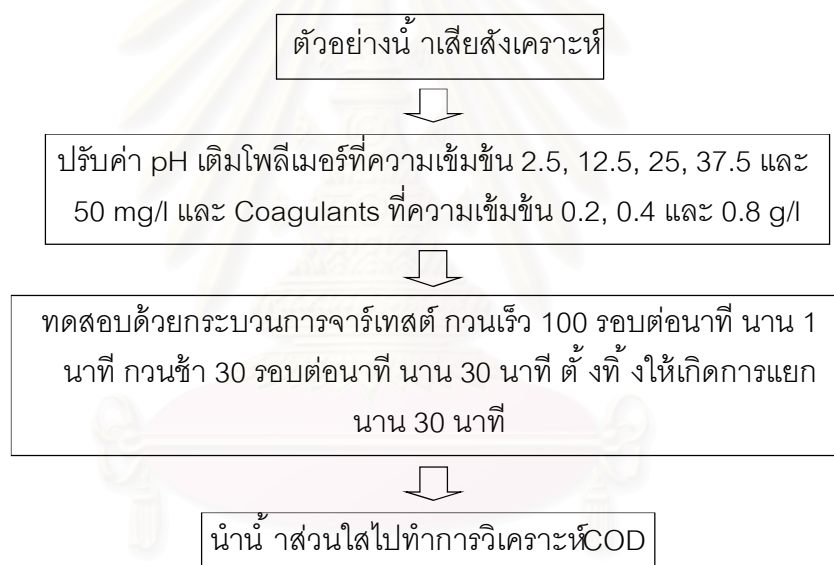
##### วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวเติมลงในบีกเกอร์ปริมาตรลิตร จากนั้นทำการปรับค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.3.1
2. ทำการเติมโพลีเมอร์ที่ความเข้มข้น 2.5, 12.5, 25, 37.5 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ทำการทดสอบด้วยวิธีจาร์เทสต์ โดยเติมสารส้มและเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร จากนั้นทำการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 1 นาที กวนช้า 30 รอบต่อนาที นาน 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกนาน 30 นาที
4. นำน้ำส่วนใสไปทำการวิเคราะห์ค่า COD

สามารถสรุปตัวแปรการศึกษาผลกระทบของปริมาณโพลีเมอร์ ที่มีผลต่อปริมาณสารโคแอกกูแลนต์สำหรับการบำบัดได้ดังตารางที่ 3.8 และรูปแสดงขั้นตอนการศึกษผลกระทบของปริมาณโพลีเมอร์ ที่มีผลต่อปริมาณของโคแอกกูแลนต์สำหรับการบำบัดได้ดังรูปที่ 3.11

ตารางที่ 3.9 ตัวแปรการศึกษาผลกระทบของปริมาณโพลีเมอร์ ที่มีผลต่อปริมาณสารโคแอกกูแลนต์สำหรับการบำบัด

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ปริมาณน้ำเสียตัวอย่าง 2. ความเข้มข้นน้ำมัน	1. ลิตร 2. 5 กรัม/ลิตร
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ความเข้มข้นสาร Coagulants 2. ความเข้มข้นของโพลีเมอร์	1. 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัม/ลิตร 2. 2.5-50 มิลลิกรัม/ลิตร
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. ค่า COD	1. ค่า COD



รูปที่ 3.11 แผนผังแสดงการทดลองศึกษาผลกระทบของปริมาณโพลีเมอร์ ที่มีผลต่อปริมาณของโคแอกกูแลนต์สำหรับการบำบัด

#### 3.4.4 การทดลองศึกษาการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการ MIAF

เป็นการทำการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลอากาศ ระยะเวลาในการทำให้ลอย ขนาดฟองอากาศ และปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ ที่มีความเหมาะสมสูงสุดต่อการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการ MIAF

3.4.4.1 การทดลองศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศ และความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการMIAF

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศ และความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการMIAF

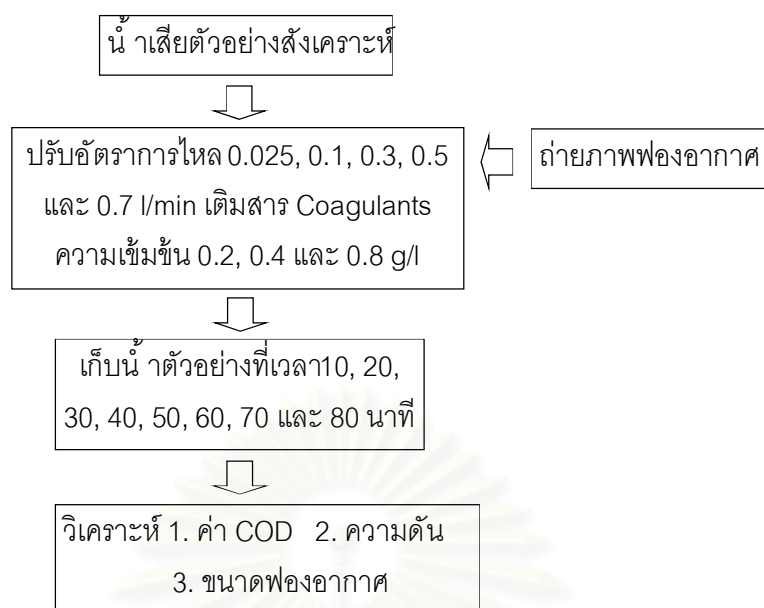
วิธีทำการทดลอง

1. นำตัวอย่างน้ำ าสีปนเปื้อนนํ้า ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวเติมลงในชุดทดสอบการทำให้ลอยจากนั้น ทำการเติมอากาศที่อัตราการไหลอากาศ 0.025, 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ลิตรต่อนาที
2. ทำการเติมสารโคแอกกูแลนต์ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร
3. ทำการทำการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงที่อัตราการไหลอากาศ 0.025, 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ลิตรต่อนาที
4. ทำการเก็บตัวอย่างที่ความสูง 0.1 เมตร ที่เวลา 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 นาที จากนั้น นำตัวอย่างน้ำ าสีปนเปื้อนนํ้า ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวที่ผ่านการบำบัดทำการวิเคราะห์ค่า COD

สามารถสรุปตัวแปรการศึกษาอัตราการไหลอากาศ และความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการMIAF ได้ดังตารางที่ 3.9 และรูปแสดงขั้นตอนการศึกษาอัตราการไหลอากาศ และความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการMIAF ดังรูปที่ 3.12

ตารางที่ 3.10 ตัวแปรการศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศ และความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ามันด้วยกระบวนการMIAF

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ปริมาตรน้ำ าสีตัวอย่่า	1. 2.7 ลิตร
2. ความเข้มข้นน้ำ ามัน	2. 5 กรัม/ลิตร
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. อัตราการไหลอากาศ	1. 0.025-0.7 ลิตร/นาที
2. ความเข้มข้น Coagulants	2. 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัม/ลิตร
3. เวลาในการเก็บ	3. 10-80 นาที
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. ค่า COD	1. ค่า COD
2. ค่าความดัน	2. ค่าความดัน
3. ขนาดฟองอากาศ	3. ขนาดฟองอากาศ



รูปที่ 3.12 แผนผังแสดงการทดลองการศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศ และความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการ MIAF

3.3.4.2 การทดลองการศึกษาจลนศาสตร์ และความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการ MIAF

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาจลนศาสตร์ และความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวด้วยกระบวนการ MIAF วิธีทำการทดลอง

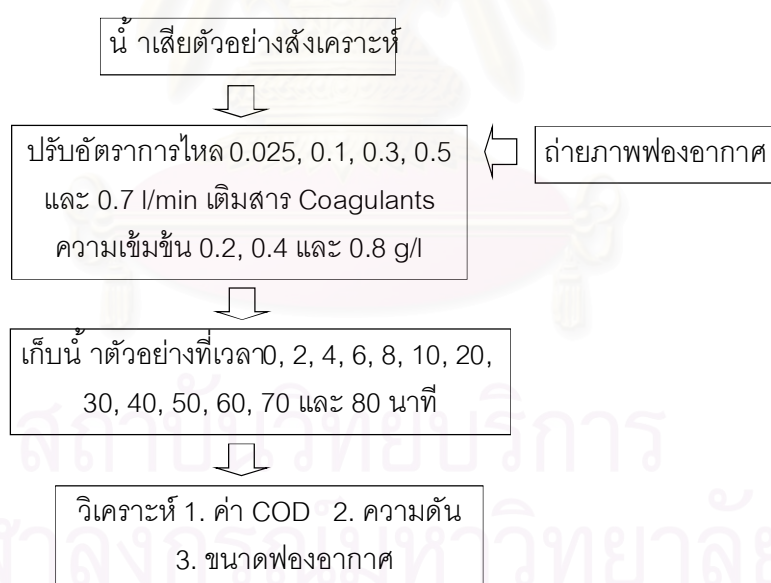
1. นำตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวเติมลงในชุดทดสอบการทำให้ลอย จากนั้นทำการเติมอากาศที่อัตราการไหล 0.3 ลิตรต่อนาที
2. ทำการเติมสารโคแอกกูแลนต์ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร
3. ทำการเก็บตัวอย่างที่ความสูง 0.1 เมตร ที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 นาที จากนั้นนำตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวที่ผ่านการบำบัดไปทำการวิเคราะห์ค่า COD

สามารถสรุปตัวแปรการศึกษาจลนศาสตร์ และความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการ MIAF ได้ดังตารางที่ 3.10 และรูปแสดงขั้นตอนการศึกษาจลนศาสตร์ และความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยกระบวนการ MIAF ได้ดังรูปที่ 3.13



ตารางที่ 3.11 ตัวแปรการศึกษาจลนศาสตร์ และความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการMIAF

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ปริมาตรน้ำเสียตัวอย่าง	1. 2.7 ลิตร
2. ความเข้มข้นน้ำมัน	2. 5 กรัม/ลิตร
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. อัตราการไหลอากาศ	1. 0.025-0.7 ลิตร/นาที
2. ความเข้มข้น Coagulants	2. 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัม/ลิตร
3. เวลาในการเก็บ	3. 10-80 นาที
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. ค่า COD	1. ค่า COD
2. ค่าความดัน	2. ค่าความดัน
3. ขนาดฟองอากาศ	3. ขนาดฟองอากาศ



รูปที่ 3.13 แผนผังแสดงการทดลองการศึกษาจลนศาสตร์ และความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันด้วยกระบวนการMIAF

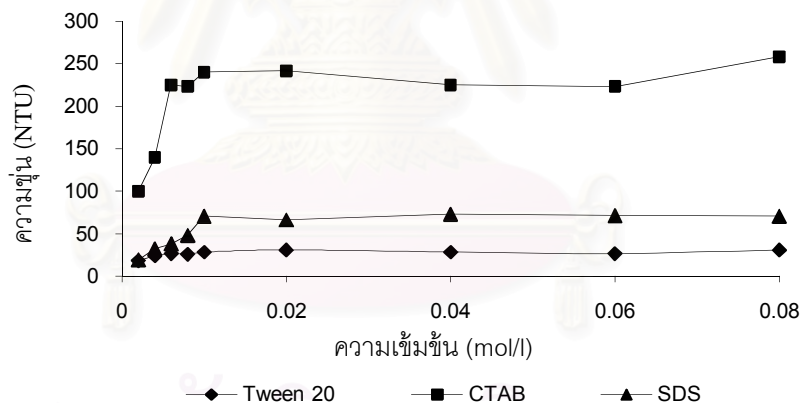
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.2 การศึกษาลักษณะสมบัติของตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์

##### 4.1.1 การศึกษาค่าความขุ่นสำหรับเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์

ในส่วนนี้ เป็นการศึกษาค่าความขุ่นที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว โดยใช้ นํ้ามันปาล์ม 5 กรัมต่อลิตร ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Sodium Dodecyl Sulphate (SDS), Polysorbate 20 (Tween 20) และ Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB) ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าความขุ่น ที่ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในช่วง 0.001-0.08 โมลต่อลิตร รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับปริมาณสารลดแรงตึงผิว SDS, CTAB และ Tween 20 ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับปริมาณสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่สามารถที่เพิ่มขึ้น โดยสามารถแบ่งช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นได้ช่วง 2 ได้แก่

- ช่วงที่ 1 ค่าความขุ่นจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเพิ่มค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, CTAB และ Tween 20 ในช่วง 0.002-0.008, 0.002-0.006 และ 0.002-0.004 โมลต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากการลดลงของค่าแรงตึงผิวระหว่าง

หยดนี้ น้ำมันกับนี้ และหยดนี้ น้ำมันยังสีนี้ นที่ผิวมากพอในการดูดซับโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว

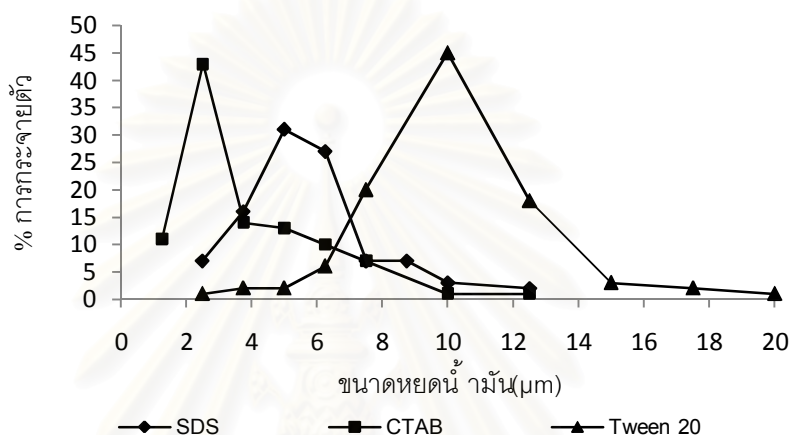
- ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนค่าความขุ่นน้อยมากจนถึงคงที่ที่เกิดในช่วงความเข้มข้นของ SDS, CTAB และ Tween 20 ที่ 0.008-0.08, 0.006-0.08 และ 0.004-0.08 โมลต่อลิตร เนื่องจากค่าแรงตึงผิวที่เริ่มคงที่และพื้นที่ผิวของหยดนี้ น้ำมันที่แตกตัวเกิดการดูดซับกับโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจนเต็มไม่สามารถเกิดการดูดซับกับโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวได้อีกทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่เหลือเกิดการรวมตัวเกิดเป็นไมเซลล์ ซึ่งการรวมตัวเป็นไมเซลล์ของ SDS, CTAB และ Tween 20 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นน้อยมาก ชูสิกร (2547) ได้ทำการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, CTAB และ Tween 20 ที่ส่งผลต่อการลดลงของค่าแรงตึงผิว พบว่าการลดลงของแรงตึงผิวเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น 2 ช่วง ในช่วงที่ 1 ของความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวต่ำจะส่งผลทำให้เกิดการลดลงของแรงตึงผิวอย่างรวดเร็ว และช่วงที่ 2 เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมากขึ้น นทำให้การเปลี่ยนแปลงของแรงตึงผิวมีแนวโน้มลดลงและคงที่เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมากขึ้น น จากผลการทดลองของชูสิกรแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกับค่าความขุ่นที่เกิดขึ้น นจากการทดลอง

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ให้ค่าความขุ่นสูงสุดที่ได้จากการทดลองนี้ สำหรับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (SDS) ค่าความเข้มข้นที่มีความเหมาะสม 0.008 โมลต่อลิตร ให้ค่าความขุ่นสูงสุด 71.17 NTU สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) ค่าความเข้มข้นที่มีความเหมาะสม 0.006 โมลต่อลิตร ให้ค่าความขุ่นสูงสุด 225 NTU และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ Tween 20 ค่าความเข้มข้นที่มีความเหมาะสม 0.004 โมลต่อลิตร ให้ค่าความขุ่นสูงสุด 27.5 NTU จะนำไปประยุกต์ใช้ในการเตรียมตัวอย่างนี้ นเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวสำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ต่อไป

4.2.2 การศึกษาลักษณะสมบัติของตัวอย่างนี้ นเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ขนาดหยดนี้ น้ำมัน ค่าความหนืด และค่าซีไอดี (COD)

จากผลการศึกษาค่าความขุ่นที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างนี้ นเสียสังเคราะห์ จึงได้นำค่าความเข้มข้นของ SDS, CTAB และ Tween 20 ที่ 0.008, 0.006 และ 0.004 โมลต่อลิตร มาเตรียมตัวอย่างนี้ นเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวที่มีความคงตัวสูง (Stabilized emulsion) ที่มีความเข้มข้นของน้ำมัน 5 กรัมต่อลิตร (Ahmad และคณะ, 2006) แล้วทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของตัวอย่างนี้ นเสียสังเคราะห์นี้ นได้แก่ ขนาดหยดนี้ น้ำมันตัวอย่างนี้ นเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด (SDS, CTAB และ Tween 20 ที่ความเข้มข้น

0.008, 0.006 และ 0.004 ตามลำดับ) ทำการวิเคราะห์หาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์พร้อมเฟสคอนทราสต์ (Light Microscope with Contrast Condenser) ยี่ห้อ Olympus รุ่น BX50 ที่กำลังขยาย 60 เท่า ร่วมกับอุปกรณ์ช่วยวัดขนาดหยดน้ำมัน State micrometer ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2 ค่าความหนืด (Viscosity) ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดค่าความหนืด (Brookfield Digital Rheometer) ยี่ห้อ Brookfield รุ่น DV-III และทำการวิเคราะห์ค่า COD ด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed reflux) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1



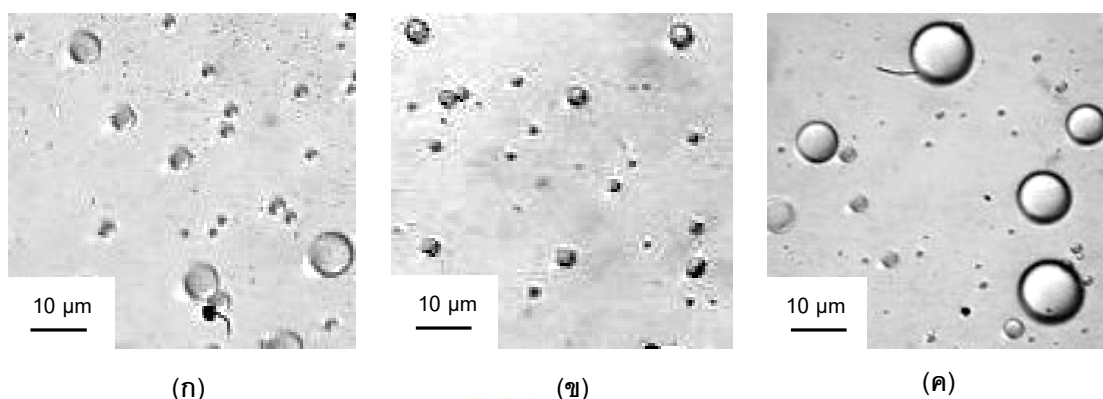
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวกับขนาดหยดน้ำมันในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด

จากรูปที่ 4.2 พบว่าขนาดของหยดน้ำมันมีเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวสูงสุดในตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, CTAB และ Tween 20 มีขนาดอยู่ที่ 5, 2.5 และ 10 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของขนาดหยดน้ำมันที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความแตกต่างของค่าแรงตึงผิวที่เกิดจากชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย สามารถเรียงลำดับค่าแรงตึงผิว และขนาดหยดน้ำมันได้ดังนี้

$$\text{แรงตึงผิว}_{\text{Tween 20}} > \text{แรงตึงผิว}_{\text{SDS}} > \text{แรงตึงผิว}_{\text{CTAB}} \quad (\text{ชูลีกร, 2547})$$

$$\text{ขนาดหยดน้ำมัน}_{\text{Tween 20}} > \text{ขนาดหยดน้ำมัน}_{\text{SDS}} > \text{ขนาดหยดน้ำมัน}_{\text{CTAB}}$$

นอกจากนี้ ความแตกต่างขนาดของหยดน้ำมันที่เกิดขึ้นพบว่ามีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความขุ่นคือ ตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB มีขนาดหยดน้ำมันที่เล็กที่สุดมีความสอดคล้องในการให้ค่าความขุ่นสูงสุด รองลงมาเป็นตัวอย่างไม่่ปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS และในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 มีขนาดหยดน้ำมันที่ใหญ่ที่สุดมีความสอดคล้องในการให้ค่าความขุ่นต่ำที่สุด (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.3 รูปของหยดน้ำมันถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 60 เท่าในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, CTAB และ Tween 20 ในภาพ ก ข และ ค ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปค่าของลักษณะสมบัติของตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด

สารลดแรงตึงผิว	ความขุ่น (NTU)	COD (mg/l)	CMC		$\mu_L$ (cps)	D <sub>oil</sub> ( $\mu\text{m}$ )
			(mol/l)	(g/l)		
SDS	71.17	10190.47	0.008	2.31	19.7	5
CTAB	225	10984.12	0.006	2.19	19.3	2.5
Tween 20	27.5	17714.27	0.004	4.91	18.9	10

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่า COD ของตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, CTAB และ Tween 20 มีค่าเท่ากับ 10190.47, 10984.12 และ 17714.27 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการเปลี่ยนแปลงค่า COD ที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย โดยพบว่าปริมาณของ Tween 20 ใช้ในการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียเท่ากับ 4.91 กรัมต่อลิตร ซึ่งใช้ปริมาณมากที่สุดส่งผลต่อการเกิดค่า COD สูงสุด ในขณะที่ SDS และ CTAB มีค่า COD ที่ใกล้เคียงกันเป็นผลเนื่องมาจากการใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้ค่าความหนืดของตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, CTAB และ Tween 20 มีค่าเท่ากับ 19.7, 19.3 และ 18.9 เซนติพอยส์ (Centipoises, cps) ตามลำดับ ซึ่งค่าความหนืดของตัวอย่างน้ำเสียที่ 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันมากนัก

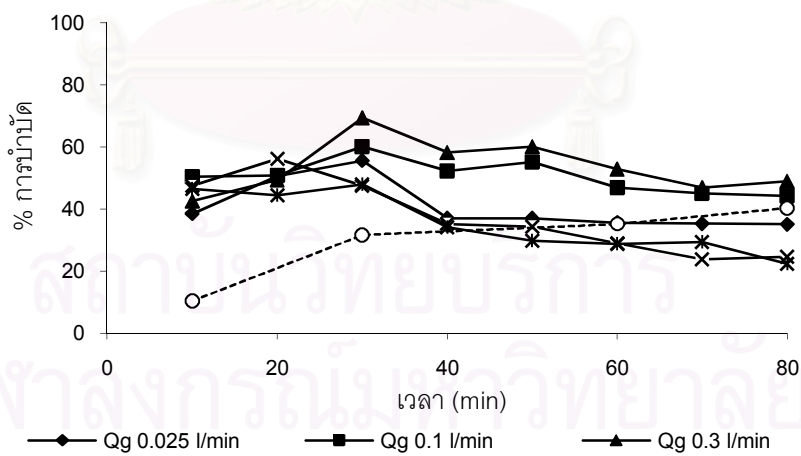
### 4.3 การศึกษาบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ด้วยกระบวนการทำให้ลอยแบบอินดิวิชแอโรโฟลเทชัน (IAF)

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการ IAF โดยปัจจัยทำการศึกษาได้แก่ อัตราการไหลอากาศในช่วง 0.025-0.7 ลิตรต่อนาที และระยะเวลาการบำบัดในช่วง 0-80 นาที

4.2.1 การศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด 3 ชนิด ได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการ IAF โดยทำการทดลองเพื่อทำการศึกษาอัตราการไหลอากาศ และระยะเวลาในการบำบัดที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด

4.2.1.1 การศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ด้วยกระบวนการ IAF

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS กับเวลาการบำบัดที่อัตราการไหลอากาศในช่วง 0.025-0.7 ลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS กับเวลาการบำบัดที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 พบว่ากระบวนการ IAF ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS อยู่ที่ 69.82 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหลอากาศ

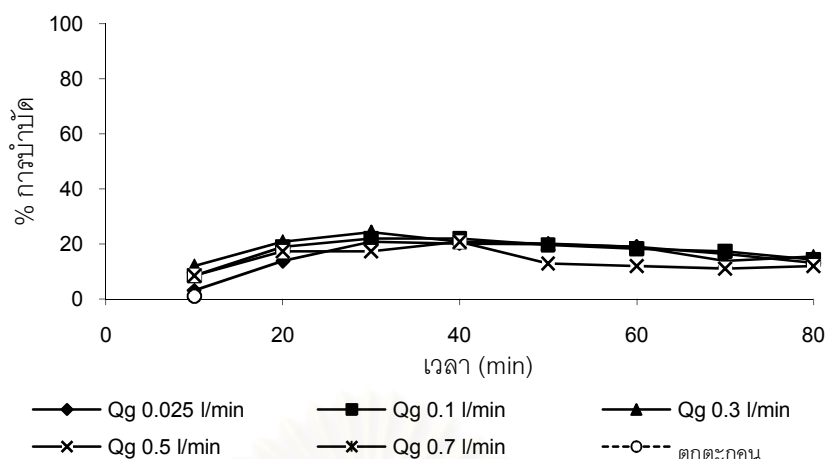
0.3 ลิตรต่อนาที่ ในเวลา 30 นาที เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลอากาศและช่วงระยะเวลาอื่น ทำให้กล่าวได้ว่าไม่มีความจำเป็นในการเติมอากาศที่เวลานานเพื่อการบำบัด เนื่องจากประสิทธิภาพมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเวลาการเติมอากาศนานขึ้น ทั้งนี้จากการเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพการบำบัดที่เวลาต่างๆ สามารถแบ่งช่วงกลไกการบำบัดได้ 3 ช่วง ได้แก่

- Free surface zone ซึ่งในช่วงนี้ กล่าวได้ว่าอนุภาคน้ำมันยังมีพื้นที่ว่างสำหรับจับหรือสัมผัสกับฟองอากาศ ทำให้ค่าอัตราการไหลอากาศไม่ค่อยมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัด
- Attachment zone ในช่วงนี้ เป็นกลไกในการเกาะติดระหว่างอนุภาคน้ำมันและฟองอากาศจะเป็นตัวแปรสำคัญในการบำบัดโดยการแยกอนุภาคน้ำมันออกสู่ด้านบนของระบบบำบัด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอัตราการไหลอากาศมีผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้ โดยค่าอัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที่ นี้ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ก่อให้เกิดการเกาะติดของหยดน้ำมันและฟองอากาศ ในขณะที่อัตราการไหลอากาศที่สูงเกินไปอาจส่งผลต่อพลังงานในการกวนผสมที่สูงเกินไปจนทำให้ลดความสามารถในการเกาะติด รวมไปถึงการลดลงของประสิทธิภาพโดยรวมในที่สุด
- Breaking zone ในช่วงนี้ เห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมของระบบมีแนวโน้มที่จะลดลง โดยเกิดมาจากการแตกตัวของระหว่างหยดน้ำมันที่รวมตัวกับฟองอากาศ นอกจากนี้ระยะเวลาที่เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวจะแปรผกผันกับค่าอัตราการไหลของอากาศที่ใส่เข้าระบบ

โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างกระบวนการ IAF กับการตกตะกอน พบว่าที่เวลาเท่ากัน (30 นาที) กระบวนการ IAF ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ในช่วงประมาณ 40-70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการตกตะกอน (31.52 เปอร์เซ็นต์) เป็นผลเนื่องจากฟองอากาศที่จับตัวกับหยดน้ำมันทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างค่าความหนาแน่นของหยดน้ำมันกับน้ำ ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกตามสมการของสโตค (Stokes' law)

4.2.1.2 การศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดCTAB ด้วยกระบวนการ IAF

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวCTAB กับเวลาการบำบัดที่อัตราการไหลอากาศในช่วง 0.025-0.7 ลิตรต่อนาที่ แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดตัวอย่างน้ำ ำเสียปนเปื้อนน้ ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB กับเวลาการบำบัดที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ

จากรูปที่ 4.5 พบว่ากระบวนการ IAF ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดตัวอย่างน้ำ ำเสียปนเปื้อนน้ ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวCTAB อยู่ที่ 24.33 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ในเวลา 30 นาที เมื่อทำการเปรียบเทียบกัอัตราการไหลอากาศและระยะเวลาอื่นๆ พบว่าอัตราการไหลอากาศ และระยะเวลาบำบัด มีผลน้อยมากต่อประสิทธิภาพการบำบัด โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

- ขนาดหยดน้ำ ำมันของตัวอย่างน้ำ ำเสียปนเปื้อนน้ ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวCTAB มีขนาดเล็กเพียง 2.5 ไมโครเมตร โดยขนาดหยดน้ำ ำมันที่มีขนาดเล็กยังส่งผลเสียต่อค่าความเร็วสุดท้าย ( $V_t$ ) ของการแยกตามสมการของสโตค โดยค่าความเร็วสุดท้ายจะแปรผันตรงกับขนาดของอนุภาคยกกำลังสอง ตามสมการที่ (4.1) (Moosai และ Dawe, 2003)

$$V_t = \frac{g(\rho_p - \rho)D_p^2}{18\mu} \quad (4.1)$$

ดังนั้นการที่ขนาดหยดน้ำ ำมันของตัวอย่างน้ำ ำเสียปนเปื้อนน้ ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB มีขนาดเล็กทำให้การแยกเกิดขึ้นได้ช้าซึ่งส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดเป็นอย่างมาก

- แรงผลักระหว่างประจุบวกบนพื้นผิวของหยดน้ำ ำมันที่เกิดจากการดูดซับโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว CTAB ทำให้โอกาสในการชนและการเกาะติดกับฟองอากาศเกิดได้ลดลง

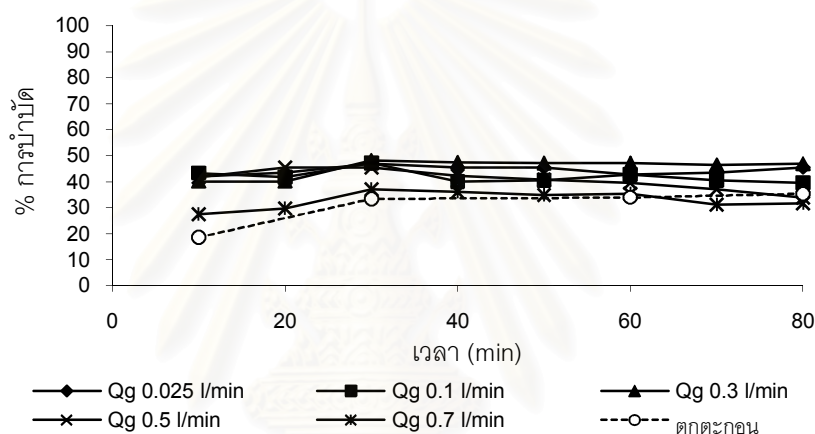
โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างกระบวนการ IAF กับการตกตะกอนพบว่าที่เวลาเท่ากัน (30 นาที) กระบวนการ IAF ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ในช่วงประมาณ 13-25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการตกตะกอนเพียง



เล็กน้อย (11.23 เปอร์เซ็นต์) เป็นผลเนื่องจากฟองอากาศไม่มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด หรือมีผลน้อยมากๆ โดยสามารถกล่าวได้ว่าขนาดของหยดน้ำมันที่มีขนาดเล็กมากๆจนทำให้การสัมผัสกับฟองอากาศเกิดขึ้นได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ

4.2.1.3 การศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด Tween 20 ด้วยกระบวนการ IAF

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 กับเวลาการบำบัดที่อัตราการไหลอากาศในช่วง 0.025-0.7 ลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน Tween 20 กับเวลาการบำบัดที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 พบว่ากระบวนการ IAF ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 อยู่ที่ 48.19 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ในเวลา 30 นาที เมื่อทำการเปรียบเทียบกับอัตราการไหลอากาศและระยะเวลาอื่นๆ พบว่าอัตราการไหลอากาศ และระยะเวลามีผลน้อยมากต่อประสิทธิภาพการบำบัด ยกเว้นที่อัตราการไหลอากาศที่ 0.7 ลิตรต่อนาที เนื่องจากอัตราการไหลอากาศที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดการปั่นป่วนจนทำให้ชั้นของน้ำมันที่แยกด้านบนเกิดการกวนผสม ซึ่งจะส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดรวมของระบบ โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสามารถสรุปได้ดังนี้

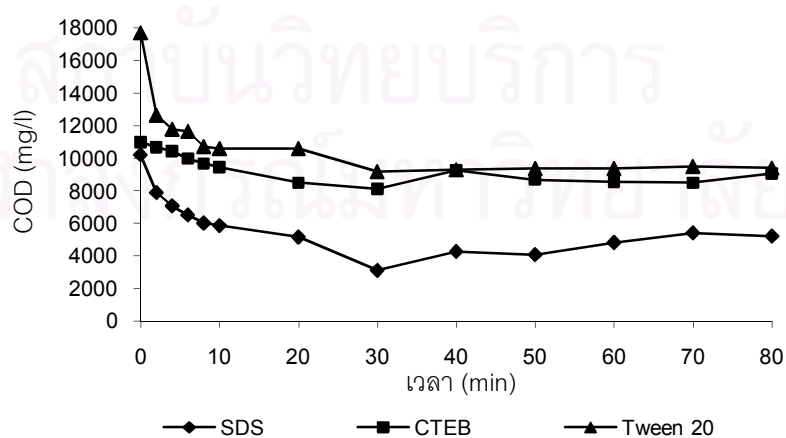
- ขนาดของหยดน้ำมันในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 มีขนาดใหญ่ (10 ไมโครเมตร) ส่งผลทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากพอจนทำให้การชนและการเกาะติดกับฟองอากาศเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- ที่ผิวของหยดน้ำมันในตัวอย่งนี้ ำเสียที่มีการปนเปื้อนween 20 ไม่มีประจุส่งผลทำให้ การชนและการสัมผัสระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศเกิดขึ้นอย่างไม่มีประสิทธิภาพมากนัก เนื่องจากประจุไฟฟ้าจะมีส่วนช่วยการชนและการสัมผัสระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศ โดยอาศัยคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวในส่วนที่มีประจุในการเกาะติดกับฟองอากาศ และคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวในส่วนที่ไม่มีประจุในการดูดซับกับหยดน้ำมันทำให้การชนและการสัมผัสระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศมีประสิทธิภาพมากขึ้น

โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างกระบวนการ IAF กับการตกตะกอน พบว่าที่เวลาเท่ากัน (30 นาที) กระบวนการ IAF ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ในช่วงประมาณ 35-49 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการตกตะกอน (33.41 เปอร์เซ็นต์) เป็นผลเนื่องจากฟองอากาศที่จับตัวกับหยดน้ำมันซึ่งมีขนาดใหญ่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างค่าความหนาแน่นของหยดน้ำมันกับน้ำ ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกตามสมการของสโตค อย่างไรก็ตามจากผลกระทบบของประจุบนที่ ผิวของหยดน้ำมันทำให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ต่ำกว่าตัวอย่งนี้ ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึง SDS

4.2.2 การศึกษาจลนศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่งนี้ ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด 3 ชนิด ได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการ IAF ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่า COD ของตัวอย่งนี้ ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด 3 ชนิด กับระยะเวลาการบำบัดในช่วง 0-80 นาที ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD กับเวลาการบำบัดตัวอย่งนี้ ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด 3 ชนิด ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.7 พบว่ากลไกการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS CTAB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการ IAF สามารถแบ่งช่วงการเปลี่ยนแปลงได้ 3 ช่วงหลัก ได้แก่

- ช่วงที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงค่า COD ลดลงอย่างรวดเร็วเกิดในช่วง 0-10 นาที ในกระบวนการ IAF สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, CTAB และ Tween 20 โดยพบว่าการลดค่า COD จาก 10190.5-5863.354, 10984.12-9448.8 และ 17714.27-10604.74 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเท่ากับประสิทธิภาพในการบำบัดที่ 42.46, 12.02 และ 40.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีสาเหตุจากในช่วงที่ 1 ปริมาณของหยดน้ำมันยังคงสูง ทำให้โอกาสที่เกิดการชนและการเกาะติดเกิดขึ้นได้มากส่งผลให้เกิดการลดลงของค่า COD อย่างรวดเร็วในช่วงเวลานี้
- ช่วงที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงเวลา 10-30 นาที ในการบำบัด สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, CTAB และ Tween 20 โดยเปลี่ยนแปลงค่า COD จาก 5863.354-3130.435, 9448.8-8125.968 และ 10604.74-9178.368 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเท่ากับประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงขึ้นเพียง 26.82, 12.32 และ 8.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากช่วงที่ 1 เนื่องจากปริมาณของหยดน้ำมันที่เหลือในช่วงที่ 2 มีปริมาณลดลงทำให้โอกาสเกิดการชนและการเกาะติดเกิดขึ้นได้น้อยลงทำให้อัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการบำบัดเกิดได้ลดลง
- ช่วงที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่า COD สูงขึ้นในช่วง 30-80 นาที ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, CTAB และ Tween 20 ให้ค่า COD เพิ่มขึ้นจาก 3130.435-5217.391, 8125.968-9070.848 และ 9178.368-9395.424 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเท่ากับประสิทธิภาพในการบำบัดที่ลดลงจากช่วงที่ 2 เท่ากับ 20.48, 8.79 และ 1.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เป็นผลจากการเติมอากาศในกระบวนการบำบัดที่นานเกินไปส่งผลทำให้เป็นการเพิ่มพลังงานในการกวนผสมของระบบทำให้เกิดการแตกตัวของชั้นน้ำมันที่ถูกแยกด้านบน

ดังนั้นแนวทางการดำเนินระบบของกระบวนการ IAF ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวซึ่งชนิดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางสรุปผลศึกษาจลนศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ด้วยกระบวนการ IAF

สารลดแรงตึงผิว	อัตราการไหลอากาศ (l/min)	เวลา (min)	ประสิทธิภาพ (%)
SDS	0.3	30	69.28
CTAB	0.3	30	24.33
Tween 20	0.3	30	48.19

จากตารางที่ 4.2 เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวที่ 3 ชนิดได้ดังนี้

$$\% \text{การบำบัด}_{\text{SDS}} > \% \text{การบำบัด}_{\text{Tween 20}} > \% \text{การบำบัด}_{\text{CTAB}}$$

โดยปัจจัยที่มีผลต่อความแตกต่างของประสิทธิภาพที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย ปัจจัยหลักคือ

- ขนาดหยดน้ำมัน ( $D_{oil}$ ) โดยขนาดของหยดน้ำมันที่เกิดขึ้นในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB (2.5 ไมโครเมตร) ทำให้ยากต่อการชนและเกิดการเกาะติดกับฟองอากาศ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับหยดน้ำมันในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS (5 ไมโครเมตร) และ Tween 20 (10 ไมโครเมตร) ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB แนวนอ้มของประสิทธิภาพการบำบัดที่ต่ำกว่าตัวอย่างน้ำเสียชนิดอื่น
- ประจุบนพื้นผิวของหยดน้ำมัน โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 กับ SDS พบว่าตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่าตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 เนื่องจากประจุไฟฟ้า (ลบ) บนพื้นผิวของหยดน้ำมันในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS จะมีส่วนช่วยทำให้การชนและการสัมผัสระหว่างหยดน้ำมันกับฟองอากาศมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ซึ่งทำให้เกิดหยดน้ำมันที่ไม่มีประจุไฟฟ้าบนพื้นผิว
- ลักษณะของโฟม (Foam) ที่เกิดขึ้น ในบริเวณด้านบนผิวน้ำ ในกระบวนการบำบัดจะแสดงถึงความสัมพันธ์ของปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ออกจากระบบบำบัด โดยพบว่าในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS จะมีลักษณะของการเกิดโฟมที่มากกว่ากระบวนการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับ

สารลดแรงตึงผิว SDS มีค่าที่สูงกว่าตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20

ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า ขนาดของหยดนํ้ามัน ประจุบนพื้นผิวหยดนํ้ามัน และลักษณะของการเกิดโฟมบริเวณด้านบนผิวนํ้า เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ IAF นอกจากนี้ การศึกษาการบำบัดตัวอย่างนํ้าเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวด้วยกระบวนการ IAF ในหัวข้อที่ 4.2 ยังพบข้อจำกัดในด้านประสิทธิภาพการบำบัดที่ไม่สูงมากนัก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ IAF ต่อไป

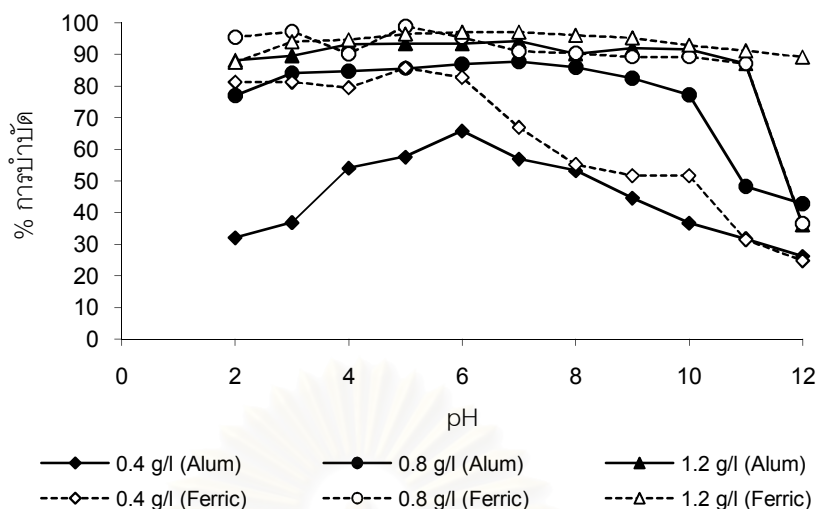
### 4.3 การศึกษาบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการบำบัดทางเคมี (วิธีจาร์เจสต์)

4.3.1 การศึกษาค่า pH เริ่มต้นที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยสารส้ม และ เพอร์ริคคลอไรด์

ในส่วนนี้ จะเป็นการทดลองเพื่อศึกษาค่า pH เริ่มต้นที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่า pH เริ่มต้นทำการศึกษาในช่วง 2-12 ปริมาณความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนท์ทำการศึกษาในช่วง 0.4-1.2 กรัมต่อลิตร และชนิดของสารโคแอกกูแลนท์ ได้แก่ สารส้ม และเพอร์ริคคลอไรด์

4.3.1.1 การศึกษาค่า pH เริ่มต้นที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ด้วยสารส้ม และเพอร์ริคคลอไรด์

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับการเปลี่ยนแปลงค่า pH เริ่มต้นในช่วง 2-12 สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม และเพอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4, 0.8 และ 1.2 กรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.8



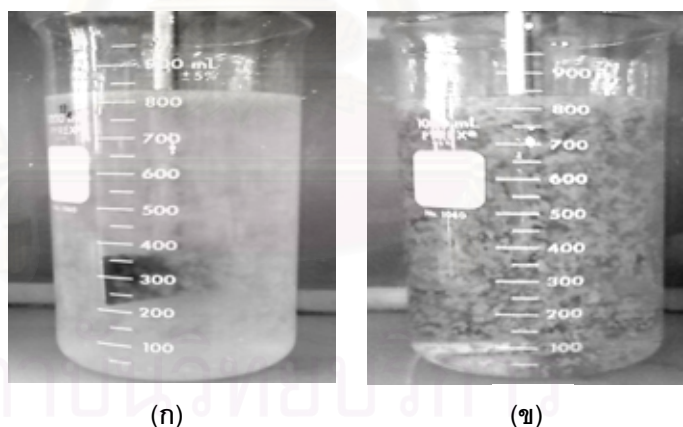
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับค่า pH เริ่มต้นในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม และเฟอร์ริกคลอไรด์

จากรูปที่ 4.8 ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้มที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 65.77 เปอร์เซ็นต์, 0.8 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 87.7 เปอร์เซ็นต์ และ 1.2 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 94.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์สำหรับความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 5 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 85.67 เปอร์เซ็นต์, 0.8 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 5 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 98.91 เปอร์เซ็นต์ และ 1.2 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 97.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการบำบัดประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่

- ปริมาณความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ตามปริมาณสารส้ม และเฟอร์ริกคลอไรด์ ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมสารโคแอกกูแลนต์ที่ปริมาณต่ำทำให้ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ไม่มากเพียงพอสำหรับการทำลายเสถียรภาพในกลไกการดูดติดผิวและทำลายประจุ (Charge neutralization) และกลไกการห่อหุ้มคอลลอยด์ (Sweep coagulation) ของหยดน้ำมัน และเมื่อปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้มีปริมาณสูงขึ้น ทำให้ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์มีมากเพียงพอสำหรับกลไกการทำลายเสถียรภาพส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มสูงขึ้น

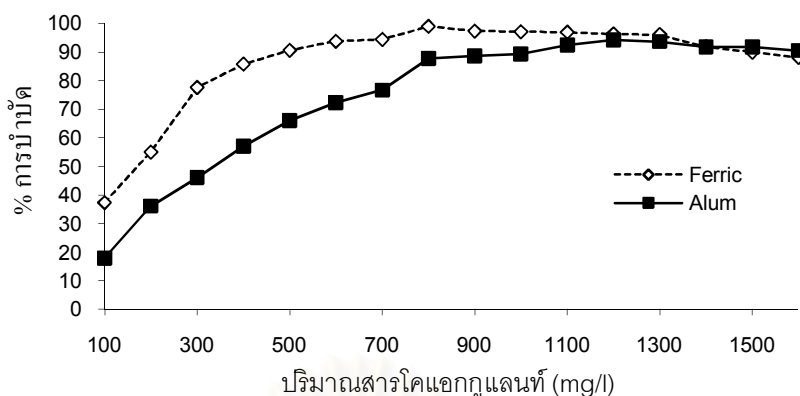
- ค่า pH เริ่มต้น พบว่าเมื่อแนวโน้มของค่า pH เริ่มต้นเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า pH เริ่มต้นต่ำๆ เนื่องจากที่ค่า pH เริ่มต้นเป็นกรดและกลางจะทำให้เกิดฟล็อกสารส้ม และเพอร์ริคโคลไรด์ที่มีประจุบวก เช่น  $Al^{3+}$ ,  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Fe(OH)^{2+}$  และ  $Fe(OH)_2^+$  ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำละลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แต่เมื่อทำการเพิ่มค่า pH เริ่มต้นเป็นด่างจะทำให้ประจุลบ ( $OH^-$ ) เกิดการดูดซับบนพื้นผิวของหยดน้ำมัน และอยู่ในสารละลายทำให้ปริมาณสารส้ม และเพอร์ริคโคลไรด์ไม่เพียงพอที่จะทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมัน ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงตามค่า pH เริ่มต้นที่เพิ่มสูงขึ้น (ชวลีกร, 2547)
- ชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าเพอร์ริคโคลไรด์มีให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการบำบัดด้วยสารส้ม เนื่องจากฟล็อกที่เกิดขึ้นจากการใช้สารส้มเป็นฟล็อกที่มีความชอบน้ำสูงกว่า (Al-Shamrania และคณะ, 2002) ฟล็อกที่เกิดจากเพอร์ริคโคลไรด์โดยลักษณะฟล็อกของสารส้มที่เกิดขึ้น มีลักษณะเป็นปุยขาว และชั้นขสฟล็อกหนากว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกับฟล็อกที่เกิดจากใช้เพอร์ริคโคลไรด์เป็นที่ฟล็อกมีขนาดใหญ่ และอัดตัวกันแน่น ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างลักษณะฟล็อกของสารส้ม และเพอร์ริคโคลไรด์ ดังภาพ ก และ ข ตามลำดับในวีธีจาร์ทดสอบ

4.3.1.2 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ด้วยสารส้ม และเพอร์ริคโคลไรด์

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารส้มและเพอร์ริคโคลไรด์ ในช่วงความเข้มข้น 0.1-1.6 กรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับความเข้มข้นสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์

จากรูป 4.10 พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ด้วยสารส้มให้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 1.2 กรัมต่อลิตร ที่ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 94.26 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีเฟอริกคลอไรด์ ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเข้มข้น 0.8 กรัมต่อลิตร ที่ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 5 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 98.84 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถแบ่งช่วงของการเปลี่ยนแปลงได้ 2 ช่วง ได้แก่

- ช่วงที่ 1 ที่ค่าความเข้มข้นสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ เท่ากับ 0.1-1.2 และ 0.1-0.8 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์เพิ่มขึ้น เพื่อให้เพียงพอสำหรับกำจัดเสถียรภาพของหยดน้ำมัน
- ช่วงที่ 2 ที่ค่าความเข้มข้นสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ 1.2-1.6 และ 0.8-1.6 กรัมต่อลิตร ซึ่งประสิทธิภาพมีแนวโน้มที่ลดลงเนื่องจากการเติมสารโคแอกกูแลนต์ที่มากเกินไปจะส่งผลทำให้เกิดความไม่เสถียรภาพขึ้น นมาใหม่ (Restabilization or Charge reversible) ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดมีแนวโน้มที่ลดลง

โดยค่า pH และปริมาณสารส้มและเฟอริกคลอไรด์ที่มีความเหมาะสมในการให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดสรุปดังตารางที่ 4.3

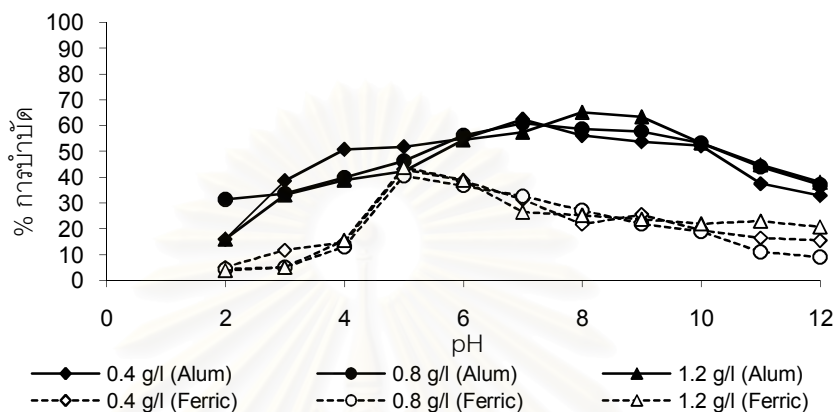
ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปผลการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์

สารลดแรงตึงผิว	โคแอกกูแลนต์	pH (เริ่มต้น)	ปริมาณ (g/l)	ประสิทธิภาพ (%)	pH (สุดท้าย)
SDS	สารส้ม	7	1200	94.26	6.52
	เฟอริกคลอไรด์	5	800	98.84	2.46



4.3.1.3 การศึกษาค่า pH เริ่มต้นที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด CTAB ด้วยสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับการเปลี่ยนแปลงค่า pH เริ่มต้นในช่วง 2-12 สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน CTEB ด้วยสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับค่า pH เริ่มต้นในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTEB ด้วยสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์

จากรูปที่ 4.11 พบว่าการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ด้วยสารส้มที่ค่าความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 62.36 เปอร์เซ็นต์, 0.8 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 60.94 เปอร์เซ็นต์ และ 1.2 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 65.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ด้วยเพอร์ริกคลอไรด์ สำหรับที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 5 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 43.16 เปอร์เซ็นต์, 0.8 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 5 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 40.49 เปอร์เซ็นต์ และ 1.2 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 5 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 43.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการบำบัดประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่

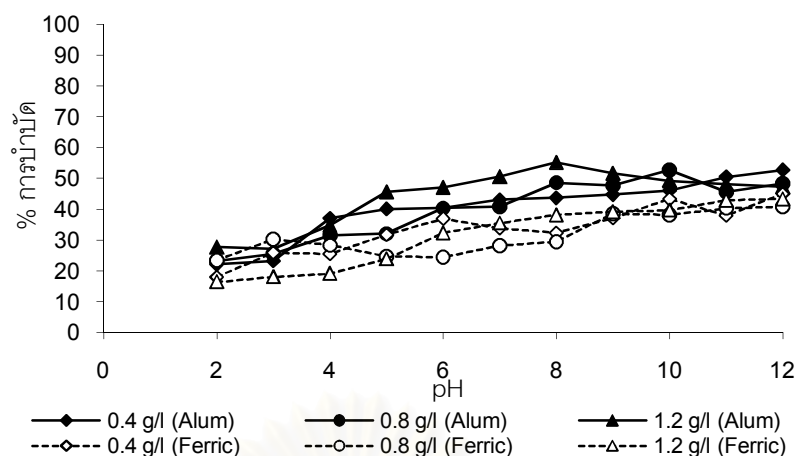
- ปริมาณความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ที่ 0.4, 0.8 และ 1.2 กรัมต่อลิตร ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้อยมาก เนื่องจากตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด CTAB ทำให้บนพื้นผิวของหยดน้ำมันถูกดูดซับด้วยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว CTAB มีประจุเป็นบวก ทำให้เมื่อใช้สารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ที่มีประจุเป็นบวกในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ทำให้สารโคแอกกูแลนต์ทั้ง 2 ชนิดไม่สามารถเกิดการทำลายเสถียรภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากมีประจุบวกเหมือนกัน

- ค่า pH เริ่มต้นพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของสารส้ม และเพอร์ริคคอลลอยด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อค่า pH เริ่มต้นเพิ่มจาก 2-7 และ 2-5 ในสารส้ม และเพอร์ริคคอลลอยด์ ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อค่า pH เริ่มต้นสูงขึ้น ส่งผลทำให้ประจุบวกที่ดูดซับบนพื้นผิวของหยดน้ำมัน และในสารละลายลดลง ทำให้หยดน้ำมันมีเสถียรภาพลดลงสามารถเคลื่อนที่เข้าใกล้กัน ได้มากขึ้น และมีความสามารถเกิดฟล็อกขึ้นได้บ้างเล็กน้อยส่งผลทำให้ประสิทธิภาพมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 และ 5 สำหรับสารส้ม และเพอร์ริคคอลลอยด์ตามลำดับ ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้หยดน้ำมันเกิดเสถียรภาพต่ำที่สุด และเมื่อค่า pH เริ่มต้นเพิ่มขึ้นจาก 7-12 และ 5-12 ในสารส้ม และเพอร์ริคคอลลอยด์ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีแนวโน้มที่ลดลงเนื่องจากค่า pH เริ่มต้นเป็นด่างทำให้ประจุลบ ( $\text{OH}^-$ ) เกิดการดูดซับบนพื้นผิวของหยดน้ำมัน และอยู่ในสารละลายทำให้ปริมาณสารส้ม และเพอร์ริคคอลลอยด์ไม่เพียงพอที่จะทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมัน รวมทั้งอาจส่งผลให้หยดน้ำมันและฟล็อกเกิดเสถียรภาพขึ้น ใหม่อีกทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงตามค่า pH เริ่มต้นที่เพิ่มสูงขึ้น (นุชสิทธิ์, 2547)
- ชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของสารส้มมีค่าสูงกว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกับเพอร์ริคคอลลอยด์ เนื่องจากในกระบวนการโคแอกกูเลชันสารส้มใช้ระยะเวลาในการแยกของฟล็อกที่เกิดขึ้น นานกว่าเป็นผลเนื่องจากค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตี (EN) หรือค่าความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนของ  $\text{Al}^{3+}$  (EN=1.61) ในสารส้มซึ่งมีค่าต่ำกว่า  $\text{Fe}^{3+}$  (EN=1.83) ในเพอร์ริคคอลลอยด์ ทำให้ฟล็อกที่เกิดจากสารส้มเกิดได้ช้ากว่า ฟล็อกที่เกิดจากเพอร์ริคคอลลอยด์ทำให้มีโอกาสเกิดการดูดซับกับหยดน้ำมันขนาดเล็กในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ได้ดีกว่าฟล็อกที่เกิดจากเพอร์ริคคอลลอยด์ซึ่งมีขนาดใหญ่เกิดการแยกได้เร็วกว่า (McNaught และ Wilkinson, 1997)

4.3.1.4 การศึกษาค่า pH เริ่มต้นที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด Tween 20 ด้วยสารส้ม และเพอร์ริคคอลลอยด์

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับการเปลี่ยนแปลงค่า pH เริ่มต้นในช่วง 2-12 สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยสารส้ม และเพอร์ริคคอลลอยด์ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับค่า pH เริ่มต้นในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์

จากรูปที่ 4.12 พบว่าการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยสารส้มที่ค่าความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 8 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 43.59 เปอร์เซ็นต์, 0.8 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 8 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 48.57 เปอร์เซ็นต์ และ 1.2 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 8 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 55.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยเฟอริกคลอไรด์ที่ค่าความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 12 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 45.04 เปอร์เซ็นต์, 0.8 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 12 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 40.83 เปอร์เซ็นต์ และ 1.2 กรัมต่อลิตร ค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 12 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด 43.29 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการบำบัดประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่

- ปริมาณความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าปริมาณความเข้มข้นสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ 0.4, 0.8 และ 1.2 กรัมต่อลิตร ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้อยมาก เนื่องจากตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ทำให้ไม่มีประจุบนพื้นผิวของหยดน้ำมัน ซึ่งถูกดูดซับด้วยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวนิดดังกล่าว ทำให้เมื่อใช้สารส้มและเฟอริกคลอไรด์ที่มีประจุเป็นบวกในกระบวนการโคแอกกูเลชันไม่สามารถเกิดการทำลายเสถียรภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ค่า pH เริ่มต้น พบว่าแนวโน้มประสิทธิภาพของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อค่า pH เริ่มต้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อค่า pH เริ่มต้นต่ำในสภาวะกรดส่งผลทำให้ประจุบวก ( $H^+$ ) เกิดการดูดซับบนพื้นผิวของหยดน้ำมันละลายในสารละลายทำให้หยด

น้ำมันมีความเสถียรภาพทำให้ไม่สามารถเกิดฟลอคกับสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ได้ แต่เมื่อค่า pH เริ่มต้นเพิ่มขึ้น ในสภาวะที่เป็นด่างทำให้ประจุลบ(OH<sup>-</sup>) เกิดการดูดซับบนพื้นผิวของหยดน้ำมันและอยู่ในสารละลายทำให้สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์มีความสามารถทำลายเสถียรภาพหยดน้ำมันทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มสูงขึ้น (Al-Shamrania และคณะ, 2002)

- ชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดด้วยสารส้ม มีค่าประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงกว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ เนื่องจากในกระบวนการโคแอกกูแลชั่นของสารส้มใช้ระยะเวลาในการแยกของฟลอคที่เกิดขึ้น นานกว่าฟลอคที่เกิดจากเฟอริกคลอไรด์ ส่งผลให้ฟลอคมีโอกาสสัมผัส และการดูดซับกับหยดน้ำมันได้ดีกว่าฟลอคที่เกิดจากเฟอริกคลอไรด์ซึ่งคล้ายกับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB

โดยตารางที่ 4.4 เป็นตารางสรุปการศึกษาค่า pH เริ่มต้นและความเข้มข้นที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ จากตารางแสดงให้เห็นว่าช่วงค่า pH เริ่มต้นที่มีความเหมาะสมสำหรับสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 6-8 และ 5-6 ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.4-1.2 กรัมต่อลิตร และมีผลอย่างมากต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด โดยที่เฟอริกคลอไรด์จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงกว่าสารส้มเนื่องจากเฟอริกคลอไรด์มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีที่สูงกว่าสารส้ม แต่สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 การเพิ่มความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์จาก 0.4-1.2 กรัมต่อลิตร มีผลน้อยมากต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด นอกจากนี้ การใช้สารส้มในการทำลายเสถียรภาพและการสร้างฟลอคพบว่าให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าการใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นผลเนื่องจากฟลอคที่เกิดจากสารส้มจะใช้เวลาในการเกิดฟลอคที่นานกว่าฟลอคเฟอริกคลอไรด์ทำให้ฟลอคของสารส้มมีโอกาสในการสัมผัสและดูดซับหยดน้ำมันได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.4 ตารางสรุปการศึกษาค่า pH เริ่มต้นและสุดท้ายที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยสารส้ม และ เพอร์ริคคลอไรด์

สารลดแรงตึงผิว	โคเอกกูแลนต์	ปริมาณ (g/l)	pH (เริ่มต้น)	ประสิทธิภาพ (%)	pH (สุดท้าย)
SDS	สารส้ม	0.4	6	65.77	4.15
		0.8	7	87.70	3.96
		1.2	7	94.26	3.65
	เพอร์ริคคลอไรด์	0.4	5	85.67	2.69
		0.8	5	98.91	2.46
		1.2	6	97.02	2.25
CTAB	สารส้ม	0.4	7	62.36	4.23
		0.8	7	60.94	4.06
		1.2	8	65.19	3.82
	เพอร์ริคคลอไรด์	0.4	5	43.16	3.01
		0.8	5	40.49	2.55
		1.2	5	43.75	2.34
Tween 20	สารส้ม	0.4	8	43.59	4.41
		0.8	8	48.57	4.22
		1.2	8	55.09	3.70
	เพอร์ริคคลอไรด์	0.4	12	45.04	8.47
		0.8	12	40.83	5.48
		1.2	12	43.29	2.52

ดังนั้น การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดในหัวข้อต่อไปสำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS เลือกใช้ความเข้มข้นของสารส้ม และเพอร์ริคคลอไรด์ เท่ากับ 0.2-0.8 กรัมต่อลิตร ที่ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 และ 5 ตามลำดับ ตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB จะทำการศึกษาเฉพาะความเข้มข้นสารของสารส้ม และเพอร์ริคคลอไรด์ 0.4 กรัมต่อลิตร ที่ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 และ 5 ตามลำดับ และตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 จะทำการศึกษาเฉพาะความเข้มข้นสารของสารส้ม และเพอร์ริคคลอไรด์ 0.4 กรัมต่อลิตร ที่ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 8 และ 5 ตามลำดับ (เพื่อ

สะดวกในการเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง) โดยในหัวข้อต่อไปจะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิดด้วยกระบวนการทางเคมีร่วมกับการประยุกต์ใช้เกลือ (NaCl) กับโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุ (Nonionic polymer) ในกระบวนการบำบัดทางเคมี

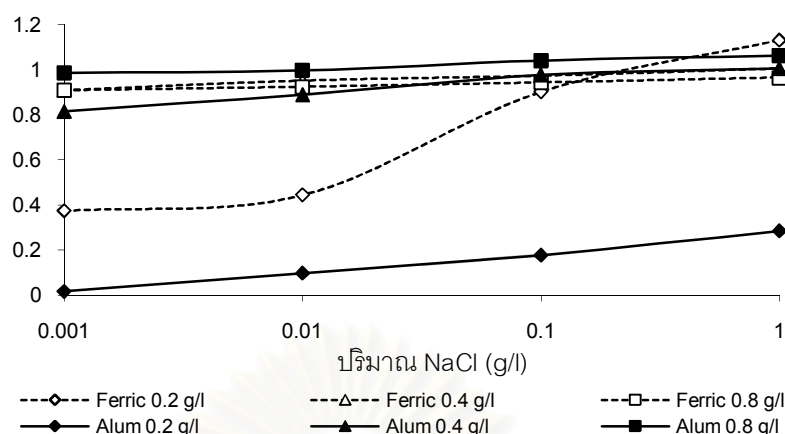
4.3.2 การศึกษาผลกระทบของเกลือ (NaCl) ที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด (SDS, CTAB และ Tween 20)

ในส่วนนี้ จะเป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของเกลือที่มีผลต่อความสามารถในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ โดยตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของเกลือในช่วง 0.001-1 กรัมต่อลิตร โดยทำการเติมเกลือในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย ค่าความเข้มข้นของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 0.4, 0.8 และ 1.2 กรัมต่อลิตร และค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 และ 5 สำหรับสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของเกลือในช่วง 0.001-1 กรัมต่อลิตร ค่าความเข้มข้นที่ 0.4 กรัมต่อลิตร และค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 และ 5 สำหรับสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ตามลำดับ และตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของเกลือในช่วง 0.001-1 กรัมต่อลิตร ค่าความเข้มข้นที่ 0.4 กรัมต่อลิตร และค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 8 และ 6 สำหรับสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ตามลำดับ

4.3.2.1 การศึกษาผลกระทบของเกลือที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (SDS)

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมเกลือต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณเกลือ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.13

$$\text{Ratio} = \frac{\% \text{การบำบัดด้วย NaCl}}{\% \text{การบำบัดด้วย Coagulant}}$$



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่ได้มีการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณเกลือ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ต่างๆ

จากรูปที่ 4.13 พบว่าการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้มที่ค่าความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร ร่วมกับเกลือให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 10.23 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณเกลือ 1 กรัมต่อลิตร โดยให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด (Ratio) 0.28 สำหรับสารส้มที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ร่วมกับเกลือให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 66.22 เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาณเกลือ 1 กรัมต่อลิตร ให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด 1.01 และสารส้มที่ความเข้มข้น 0.8 กรัมต่อลิตร ร่วมกับเกลือให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 93.24 เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาณเกลือ 1 กรัมต่อลิตร ให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด 1.06 ตามลำดับ

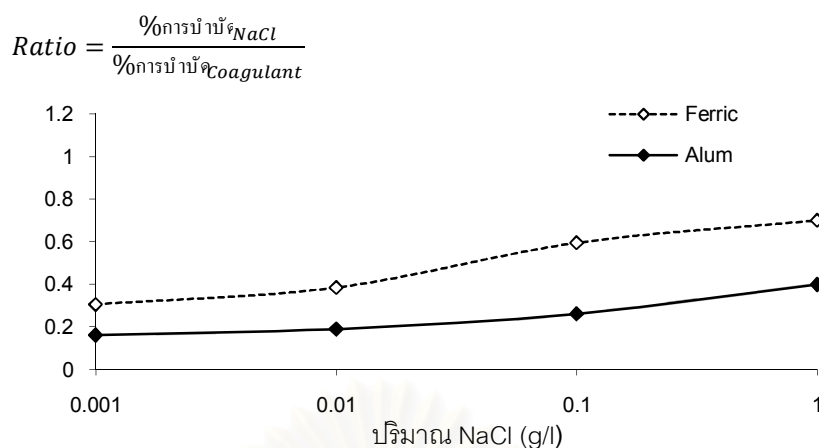
นอกจากนี้ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ค่าความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร ร่วมกับเกลือให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 62.20 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณเกลือ 1 กรัมต่อลิตร ให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด (Ratio) 1.13 สำหรับเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ค่าความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ร่วมกับเกลือให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 86.20 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณเกลือ 1 กรัมต่อลิตร ให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด 1.01 และเฟอร์ริกคลอไรด์ ที่ค่าความเข้มข้น 0.8 กรัมต่อลิตร ร่วมกับเกลือให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 94.40 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณเกลือ 1 กรัมต่อลิตร ให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด 0.96 ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด (Ratio) ที่ได้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันที่ไม่มีการเติมเกลือ (แบบปกติ) ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันที่มีการใช้เกลือ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพการบำบัดซึ่งประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่

- ปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ โดยพบว่าผลกระทบจากเกลือจะไม่มีผลมากนักในกรณีที่มีปริมาณของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร (ปริมาณมาก) เนื่องจากปริมาณของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์มีมากพอที่จะเกิดฟล็อกแบบห่อหุ้มอนุภาค ทำให้ปริมาณของไอออนบวก ( $\text{Na}^+$ ) และลบ ( $\text{Cl}^-$ ) ที่เพิ่มขึ้นจากการเติมเกลือไม่มีผลต่อกลไกแบบนี้มากนัก แต่ในกรณีที่ความเข้มข้นของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ไม่มากพอที่จะเกิดฟล็อกแบบห่อหุ้มอนุภาคและต้องอาศัยกลไกการดูดติดผิวและทำลายประจุในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำ ไขมันเป็นหลักทำให้การที่มีปริมาณไอออนบวก และลบที่เพิ่มขึ้นจากการเติมเกลือทำให้มีผลกระทบอย่างมากต่อประสิทธิภาพการบำบัด โดยไอออนบวก ( $\text{Na}^+$ ) ไปดูดซับบนบนพื้นผิวของหยดน้ำ ไขมันที่มีประจุเป็นลบทำให้เกิดการขัดขวางประจุลบให้ไม่สามารถเกิดกลไกดูดซับแบบทำลายประจุกับสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง (0.2 กรัมต่อลิตร)
- ปริมาณของเกลือ โดยพบว่าประมาณของเกลือที่เพิ่มขึ้น นั้นกับส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณของเกลือทำให้มีปริมาณของไอออนบวก ( $\text{Na}^+$ ) ในระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งไอออนบวกในระบบที่เพิ่มขึ้น จะทำหน้าที่เป็น Counter Ion ในการลดความหนาของชั้นกระจาย และหยดน้ำ ไขมันสามารถเคลื่อนที่เข้าใกล้กันและรวมตัวได้มากขึ้นตามปริมาณเกลือที่สูงขึ้น ซึ่งส่งผลสอดคล้องกับการให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนในกรณีที่ปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์มีปริมาณต่ำๆ

4.3.2.2 การศึกษาผลกระทบของเกลือที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB)

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการบำบัด ในกรณีที่เติมเกลือต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณเกลือ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.1





รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมเกลือต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณเกลือ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ 0.4 กรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.14 พบว่าการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ด้วยสารส้มที่ค่าความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ร่วมกับเกลือให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 24.82 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณเกลือ 1 กรัมต่อลิตร ให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด (Ratio) 0.39 สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียด้วยเฟอริกคลอไรด์ที่ค่าความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ร่วมกับเกลือให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 30.91 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณเกลือ 1 กรัมต่อลิตร ให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด (Ratio) 0.69 ซึ่งสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัดแสดงให้เห็นว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันที่ไม่มีการเติมเกลือให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันที่มีการใช้เกลือ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลดลงของประสิทธิภาพการบำบัดประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่

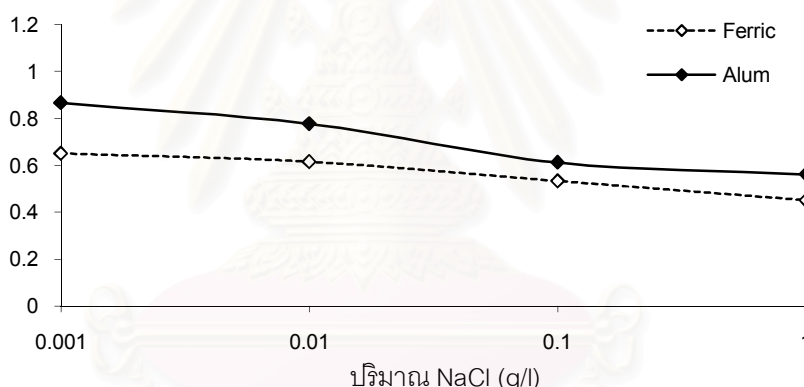
- ในกระบวนการโคแอกกูเลชันสำหรับการแยกหยดน้ำมันต้องอาศัยเติมสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมัน เพื่อให้หยดน้ำมันสามารถรวมตัว และสามารถแยกออกจากน้ำเสียได้ แต่ในกรณีที่มีการใช้เกลือในกระบวนการโคแอกกูเลชันทำให้มีไอออนลบ (Cl<sup>-</sup>) เกิดการดูดซับบนพื้นผิวของหยดน้ำมัน (ประจุบวก) เพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณขสสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ไม่เหมาะสมต่อการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมันทำให้ประสิทธิภาพในกระบวนการบำบัดลดลง
- ปริมาณของเกลือ โดยพบว่าประมาณของเกลือที่เพิ่มขึ้น นั้นส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มสูงขึ้น นั้นเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณของเกลือทำให้มีปริมาณของไอออนลบ (Cl<sup>-</sup>) ในระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งไอออนลบในระบบที่เพิ่มขึ้น จะทำหน้าที่เป็น

Counter Ion ในการลดความหนาของชั้นกระจาย และหยดน้ำ ามันสามารถเค้นที่เข้าใกล้กันและรวมตัวได้มากขึ้น ตามปริมาณเกลือที่สูงขึ้น ซึ่งส่งผลสอดคล้องกับการให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณของเกลือเพิ่มสูงขึ้น

4.3.2.3 การศึกษาผลกระทบของเกลือ (NaCl) ที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดมีประจุ (Tween 20)

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมเกลือต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.15

$$Ratio = \frac{\%การบำบัด_{NaCl}}{\%การบำบัด_{Coagulant}}$$



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมเกลือ ต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณเกลือ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ 0.4 กรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.15 พบว่าการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยสารส้มที่ค่าความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ร่วมกับเกลือให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 37.81 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณเกลือ 0.001 กรัมต่อลิตร ให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด (Ratio) 0.67 สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยเฟอริกคลอไรด์ที่ค่าความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ร่วมกับเกลือให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 29.27 เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาณเกลือ 1 กรัมต่อลิตร ให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด (Ratio) 0.84 ซึ่งสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัดแสดงให้เห็นว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันที่ไม่มีการใช้เกลือให้

ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันที่มีการใช้เกลือเช่นเดียวกับทั้ง 2 กรณีที่ผ่านมา

โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพการบำบัดคือ ในสภาวะปกติที่ pH เป็นกลางในตัวอย่งนี้ ำเสียปนเปื้อนนี้ ำม้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 20) จะมีค่าซีตาโพเทนเชียลเป็นลบ (Zouboulis และ Avranas, 2000 และ ชูลีกร, 2547) ทำให้กระบวนการโคแอกกูเลชันสำหรับการแยกหยดนี้ ำม้ที่ใช้สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในการทำลายเสถียรภาพของหยดนี้ ำม้เพื่อให้หยดนี้ ำม้สามารถรวมตัวและเกิดการแยกได้บ้าง แต่ในกรณีที่มีการใช้เกลือในกระบวนการการโคแอกกูเลชันทำให้มีไอออนบวก ( $\text{Na}^+$ ) เกิดการดูดซับบนพื้นผิวของหยดนี้ ำม้ทำให้พื้นผิวของหยดนี้ ำม้มีประจุบวกเพิ่มมากขึ้น ตามปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้การใช้สารส้มและเฟอริกคลอไรด์ที่มีประจุเป็นบวกไม่เหมาะสมต่อการทำลายเสถียรภาพของหยดนี้ ำม้ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของเกลือที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับทั้ง 2 กรณีที่ผ่านมา (ประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อปริมาณเกลือสูงขึ้น)

โดยตารางที่ 4.5 เป็นตารางสรุปผลการศึกษาที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดสำหรับการศึกษามลของเกลือผลต่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์สำหรับการบำบัดตัวอย่งนี้ ำเสียปนเปื้อนนี้ ำม้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด (SDS, CTAB และ Tween 20)

ตารางที่ 4.5 ตารางสรุปผลการศึกษามลกระทบของเกลือที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ สำหรับการบำบัดตัวอย่งนี้ ำเสียปนเปื้อนนี้ ำม้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด

สารลดแรงตึงผิว	โคแอกกูแลนต์	ปริมาณ (g/l)	pH (เริ่มต้น)	เกลือ (g/l)	สัดส่วน	ประสิทธิภาพ (%)	pH (สุดท้าย)
SDS	สารส้ม	0.2	7	1	0.28	10.23	5.64
		0.4	7	1	1.01	66.22	4.21
		0.8	7	1	1.06	93.24	3.85
	เฟอริกคลอไรด์	0.2	5	1	1.13	62.20	5.38
		0.4	5	1	1.01	86.20	3.12
		0.8	5	1	0.96	94.40	2.56
CTAB	สารส้ม	0.4	7	1	0.39	24.82	4.33
	เฟอริกคลอไรด์	0.4	5	1	0.69	30.19	2.75
Tween 20	สารส้ม	0.4	8	0.001	0.67	37.81	4.53
	เฟอริกคลอไรด์	0.4	6	0.001	0.84	29.27	2.94

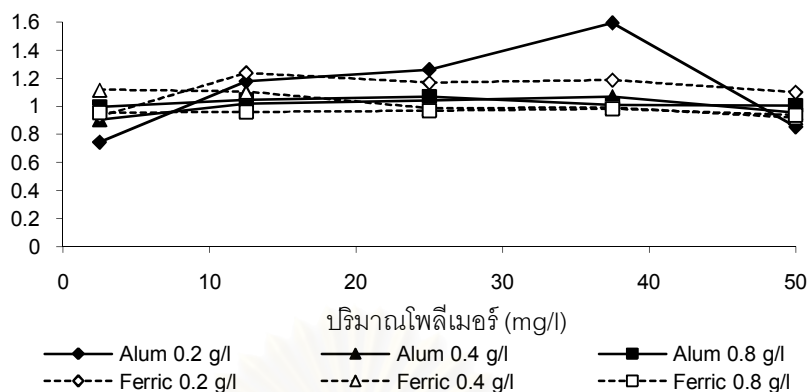
4.3.3 การศึกษาผลกระทบของโพลีเมอร์ (Acrylamide polymer) ชนิดไม่มีประจุ (Nonionic polymer) ที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด (SDS, CTAB และ Tween 20)

ในส่วนนี้ จะเป็นารทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของโพลีเมอร์ที่มีผลต่อความสามารถในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ด้วยวิธีจาร์เทสต์ โดยทำการเติมโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุในขั้นต้นก่อนการกวนเข้าสำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าความเข้มข้นสารโพลีเมอร์ในช่วง 2.5-50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเข้มข้นของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ 0.4, 0.8 และ 1.2 กรัมต่อลิตร และ ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 และ 5 สำหรับสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ตามลำดับ ตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าความเข้มข้นสารโพลีเมอร์ในช่วง 2.5-50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเข้มข้นที่ 0.4 กรัมต่อลิตร และค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 และ 5 สำหรับสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ตามลำดับ และตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าความเข้มข้นสารโพลีเมอร์ในช่วง 2.5-50 กรัมต่อลิตร ค่าความเข้มข้นที่ 0.4 กรัมต่อลิตร และค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 8 และ 6 สำหรับสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ตามลำดับ

4.3.3.1 การศึกษาผลกระทบของโพลีเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการบำบัดในกรณีเติมโพลีเมอร์ต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพลีเมอร์ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.16

$$Ratio = \frac{\%การบำบัด\textit{Polymer}}{\%การบำบัด\textit{Coagulant}}$$



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมโพลีเมอร์ต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณโพลีเมอร์ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำล้างร่วมกับสารแรงดึงผิว SDS ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ต่างๆ

จากรูปที่ 4.16 พบว่าการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำล้างร่วมกับสารลดแรงดึงผิว SDS ด้วยสารส้มที่ค่าความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร ร่วมกับโพลีเมอร์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 57.45 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณโพลีเมอร์ 37.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด (Ratio) 1.59 สำหรับความเข้มข้นสารส้ม 0.4 กรัมต่อลิตร ร่วมกับโพลีเมอร์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 70.34 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณโพลีเมอร์ 37.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ratio=1.07) และที่ความเข้มข้นสารส้ม 0.8 กรัมต่อลิตร ร่วมกับโพลีเมอร์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 93.71 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณโพลีเมอร์ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ratio=1.07) ตามลำดับ

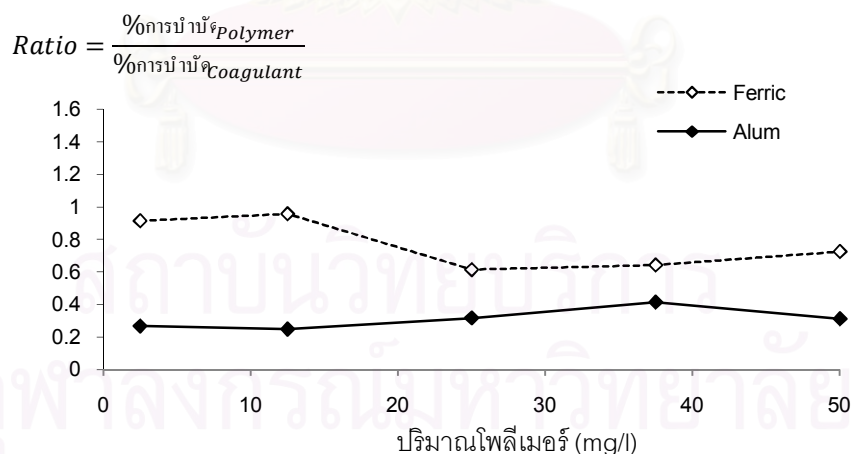
ในกรณี การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำล้างร่วมกับสารแรงดึงผิว SDS ด้วยเพอร์ริคคลอไรด์ที่ค่าความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร ร่วมกับโพลีเมอร์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 65.14 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณโพลีเมอร์ 12.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ratio=1.24) ที่ความเข้มข้นเพอร์ริคคลอไรด์ 0.4 กรัมต่อลิตร ร่วมกับโพลีเมอร์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 84.93 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณโพลีเมอร์ 37.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ratio=0.99) และที่ความเข้มข้นเพอร์ริคคลอไรด์ 0.8 กรัมต่อลิตร ร่วมกับโพลีเมอร์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 97.27 เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาณโพลีเมอร์ 37.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ratio=0.98)

โดยกล่าวได้ว่าสำหรับสารส้มและเพอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร ปริมาณโพลีเมอร์จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อทำการเปรียบเทียบกลับกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ไม่มีการเติมโพลีเมอร์ โดยโมเลกุลของโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุจะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer bridging) ฟลอคของสารส้ม และเพอร์ริคคลอไรด์ที่ไม่สามารถรวมตัวได้เป็นอนุภาคกระจายอยู่ในตัวอย่างน้ำเสียให้รวมตัวกันได้ดี

มากขึ้น แต่พบว่าเมื่อทำการเติมโพลีเมอร์เพิ่มขึ้นที่ 50 และมากกว่า 12.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับสารส้ม และเพอร์ริคโคลไรด์ ตามลำดับ ทำให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด (Ratio) ลดลงนั้นอาจกล่าวได้ว่าการเติมสารโพลีเมอร์ที่มากเกินไปทำให้เหลือเป็นโมเลกุลของสารโพลีเมอร์อยู่ในระบบ จะก่อให้เกิดผลเสียต่อการลดลงของประสิทธิภาพการบำบัด โดยโมเลกุลของสารโพลีเมอร์จัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งจะส่งผลทำให้ค่า COD ที่ได้จากการวิเคราะห์สูงขึ้น นอกจากนี้ในกรณีที่ปริมาณสารส้ม และเพอร์ริคโคลไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร พบว่าการเติมโพลีเมอร์มีผลน้อยมากต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด เนื่องจากที่ปริมาณสารส้ม และเพอร์ริคโคลไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงอยู่แล้ว (มีจำนวนฟล็อกขนาดเล็กลงที่แขวนลอยในเฟสน้ำ ปริมาณน้อย) ทำให้การเติมโพลีเมอร์ไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดมากนัก

4.3.3.2 การศึกษาผลกระทบของโพลีเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเพอร์ริคโคลไรด์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำที่มีร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB)

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการบำบัด ในกรณีที่เติมโพลีเมอร์ต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพลีเมอร์ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำที่มีร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ 0.4 กรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.17



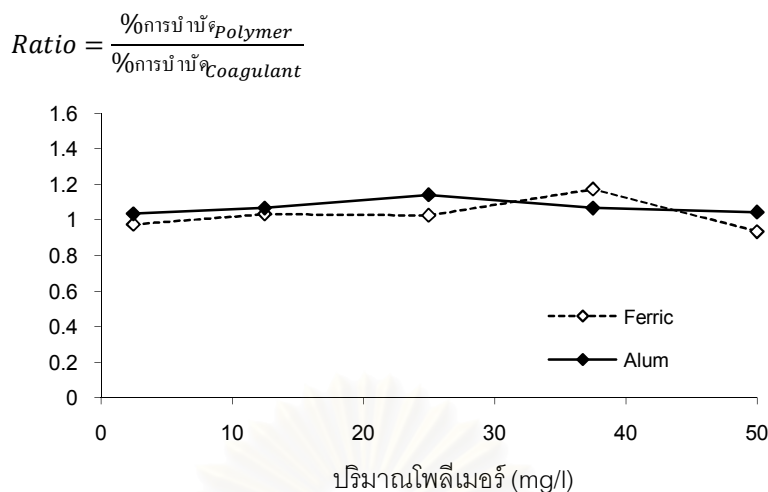
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมโพลีเมอร์ต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณโพลีเมอร์ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำที่มีร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ 0.4 กรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.17 พบว่าการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB ด้วยสารส้มที่ค่าความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ร่วมกับโพลีเมอร์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 25.84 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณโพลีเมอร์ 37.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ratio=0.41) สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB ด้วยเพอร์ริคคลอไรด์ ที่ค่าความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ร่วมกับโพลีเมอร์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 41.31 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณโพลีเมอร์ 12.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ratio=0.96) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกระบวนการโคแอกกูเลชันที่มีการใช้โพลีเมอร์กับไม่มีการใช้ โพลีเมอร์ (แบบปกติ) ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB ที่มีการใช้โพลีเมอร์ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงเนื่องจาก 2 เหตุผลหลัก ได้แก่

- ลักษณะสมบัติของตัวอย่างน้ำเสีย ขนาดหยดน้ำมันมีขนาดเล็ก(2.5 ไมโครเมตร) และแรงผลักดันของประจุบวกบนพื้นผิวหยดน้ำมันทำให้โมเลกุลโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ (มีฟล็อกเกิดขึ้นเล็กน้อย)
- โพลีเมอร์จัดเป็นสารอินทรีย์เมื่อไม่สามารถทำให้เกิดฟล็อกได้ ทำให้มีโมเลกุลของโพลีเมอร์เหลือปนอยู่ในสารละลายเมื่อทำการวิเคราะห์ค่า COD ส่งผลทำให้ค่า COD ที่ได้มีแนวโน้มที่สูงขึ้น

4.3.3.3 การศึกษาผลกระทบของโพลีเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเพอร์ริคคลอไรด์ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 20)

โดยผลการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมโพลีเมอร์ต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพลีเมอร์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ 0.4 กรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการบำบัดในกรณีที่เติมโพลีเมอร์ต่อการใช้กระบวนการทางเคมีแบบปกติ (Ratio) และปริมาณโพลีเมอร์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ 0.4 กรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.18 พบว่าการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยสารส้มที่ค่าความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ร่วมกับโพลีเมอร์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 49.77 เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาณโพลีเมอร์ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ratio=1.14) สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยเฟอริกคลอไรด์ที่ค่าความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ร่วมกับโพลีเมอร์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 52.9 เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาณโพลีเมอร์ 37.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ratio=1.17) โดยการใช้โพลีเมอร์ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการโคแอกกูแลนต์ที่ไม่มีการเติมโพลีเมอร์พบว่าทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการใช้สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ทำให้เกิดฟล็อกน้อยมากซึ่งไม่ส่งผลต่อการใช้โพลีเมอร์เพื่อทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมมากนัก แต่มีข้อดีคือในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 หยดนี้ ไขมันที่เกิดขึ้น มีขนาดใหญ่ถึง 10 ไมโครเมตร และมีผลของแรงผลักดันระหว่างประจุเกิดขึ้นน้อยทำให้มีโอกาสเกิดการเกาะติดและสัมผัสกับโมเลกุลของโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุได้ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพที่ได้จากการบำบัดสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการบำบัดจากกระบวนการโคแอกกูแลนต์เมื่อไม่มีการเติมโพลีเมอร์

จากการทดลองศึกษาผลของโพลีเมอร์ไม่มีประจุเป็นที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนไขมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด แสดงให้เห็นว่าการใช้โพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุเป็นสารช่วยรวมตะกอนจะให้ประสิทธิภาพสูงสุดในกรณีที่กระบวนการโคแอกกูแลนต์ทำให้เกิดอนุภาคฟล็อกขนาดเล็กแต่ไม่สามารถรวมตัวและ



ตกตะกอนได้อย่างรวดเร็วเช่นในกรณีการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร โดยสามารถสรุปผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางสรุปผลการศึกษามลกระทบของโพลีเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด

สารลดแรงตึงผิว	โคแอกกูแลนต์	ปริมาณ (g/l)	pH (เริ่มต้น)	โพลีเมอร์ (mg/l)	สัดส่วน	ประสิทธิภาพ (%)	pH (สุดท้าย)
SDS	สารส้ม	0.2	7	37.5	1.59	57.45	5.79
		0.4	7	37.5	1.07	70.34	4.36
		0.8	7	25	1.07	93.71	3.92
	เฟอริกคลอไรด์	0.2	5	12.5	1.24	65.14	5.54
		0.4	5	37.5	0.99	84.93	3.23
		0.8	5	37.5	0.98	97.27	2.61
CTAB	สารส้ม	0.4	7	37.5	0.41	25.84	4.19
	เฟอริกคลอไรด์	0.4	5	12.5	0.96	41.31	2.71
Tween 20	สารส้ม	0.4	8	25	1.14	49.77	4.58
	เฟอริกคลอไรด์	0.4	6	37.5	1.17	52.90	4.24

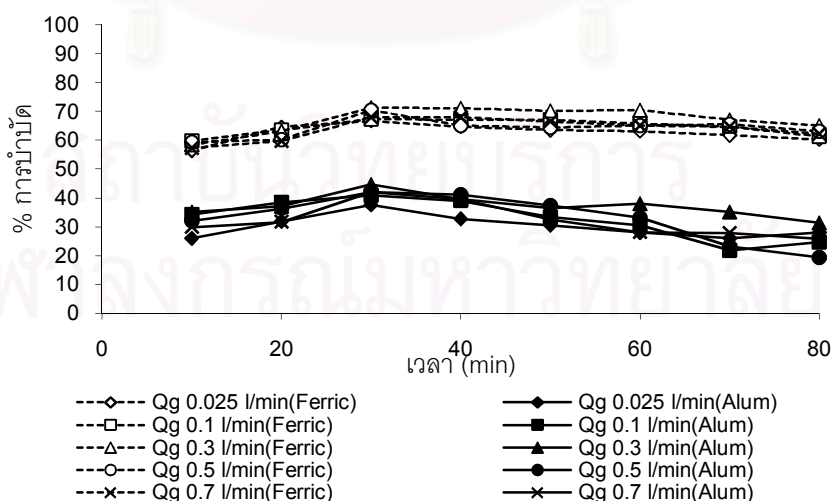
จากการศึกษามลกระทบของปริมาณเกลือ และโพลีเมอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด แสดงให้เห็นว่าการใช้เกลือ (NaCl) และโพลีเมอร์ชนิดประจุลบ (Nonionic polymer) ในกระบวนการโคแอกกูแลชันส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้อยมาก หรือในบางกรณีกลับส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัด ซึ่งส่งผลทำให้แนวทางการนำเอาเกลือและโพลีเมอร์มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูแลชันเป็นไปได้ยาก ดังนั้นแนวทางในการนำเอากระบวนการโคแอกกูแลชันมาทำการประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการทำให้ลอย (IAF) หรือเรียกว่ากระบวนการโมดิฟายอินดิวิชแอโรโพลเทชัน (MIAF) จึงเป็นแนวที่น่าสนใจและทำการศึกษาในลำดับต่อไป

#### 4.4 การศึกษาบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการโมดิฟายอินดิทซ์แอร์โฟลเทชัน (MIAF)

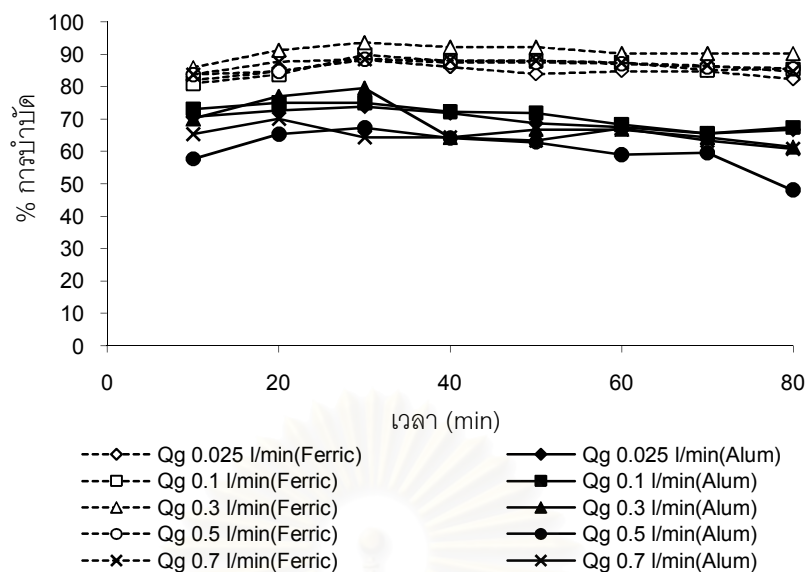
ในส่วนนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาหาเวลาการบำบัด และอัตราการไหลอากาศ ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการ MIAF สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ อัตราการไหลอากาศในช่วง 0.025-0.7 ลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างเวลาการบำบัดในช่วง 10-80 นาที และประยุกต์ใช้ปริมาณสารส้ม และ เฟอร์ริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร (การทดลองที่ 4.3.1.2) ในกรณีที่ทำการศึกษาทดลองกับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ อัตราการไหลอากาศในช่วง 0.025-0.7 ลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลาการบำบัดในช่วง 10-80 นาที และใช้ปริมาณสารส้ม และเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร (การทดลองที่ 4.3.1.3 และ 4.3.1.4 ตามลำดับ)

4.4.1 การศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการ MIAF

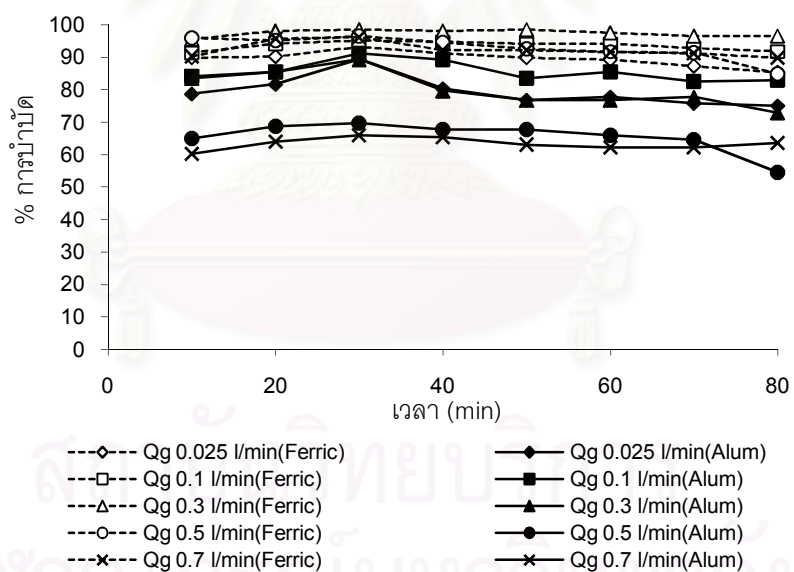
รูปที่ 4.19, 4.20 และ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับเวลาการบำบัดที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม และเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับเวลาการบำบัด ที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม และเฟอร์ริกคลอไรด์ 0.2 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับเวลาการบำบัด ที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำ มันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ 0.4 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับเวลาการบำบัด ที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำ มันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ 0.8 กรัมต่อลิตร

จากการใช้ปริมาณสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ เท่ากับ 0.2 กรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.19) พบว่าการบำบัดกระบวนการ MIAF ด้วยสารส้มให้ประสิทธิภาพสูงสุด 44.7 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที ในขณะที่เพอร์ริกคลอไรด์ให้

ประสิทธิภาพสูงสุด 71.28 เปอร์เซ็นต์ที่ อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที

จากรูปที่ 4.20 การใช้ปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ 0.4 กรัมต่อลิตร พบว่าการบำบัดกระบวนการ MIAF ด้วยสารส้มให้ประสิทธิภาพสูงสุด 79.73 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที และเฟอริกคลอไรด์ให้ประสิทธิภาพสูงสุด 93.67 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที

จากรูปที่ 4.21 การใช้ปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ เท่ากับ 0.8 กรัมต่อลิตร พบว่าการบำบัดกระบวนการ MIAF ด้วยสารส้มให้ประสิทธิภาพสูงสุด 89.38 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที และเฟอริกคลอไรด์ให้ประสิทธิภาพสูงสุด 98.93 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที

จากผลการทดลองด้านบนกล่าวได้ว่าที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที และระยะเวลาการทำให้ลอยนาน 30 นาที ให้ประสิทธิภาพสูงสุดทุกชนิดและความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดประกอบด้วย 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่

- อัตราการไหลอากาศ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้น นจาก 0.025-0.3 ลิตรต่อนาที เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณฟองอากาศที่เพิ่มขึ้น นตามอัตราการไหลอากาศที่เพิ่มขึ้น นทำให้ฟองอากาศมีโอกาสชนและสัมผัสกับหยดน้ำ มันได้เพิ่มสูงขึ้น และประสิทธิภาพลดลงเมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้น นจาก 0.3-0.7 ลิตรต่อนาที เนื่องจากการไหลอากาศที่สูงเกินไปทำให้ปริมาณฟองอากาศ ขนาดของฟองอากาศเพิ่มขึ้น นและความเร็วของฟองอากาศเพิ่มขึ้น นซึ่งเป็นผลให้เกิดความปั่นป่วนและผลเสียการชนและสัมผัสระหว่างหยดน้ำ มันกับฟองอากาศ และระยะเวลาที่ฟองอากาศอยู่ในคอลัมน์ลดลง
- ระยะเวลาการเติมอากาศ พบว่าการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการบำบัดเกิดขึ้นอย่างไม่ชัดเจน โดยจะสูงขึ้นเมื่อเวลาไหลทำให้ลอยเพิ่มขึ้น นจาก 10-30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วง Free surface Zone และ Attachment Zone จากนั้น นประสิทธิภาพในการบำบัดมีแนวโน้มคงที่ และลดลงเมื่อเวลาในการทำให้ลอย เพิ่มขึ้น น 30-50 นาที ซึ่งอยู่ในช่วง Breaking Zone เนื่องจากการทำให้ลอยที่นานเกินไปทำให้เกิดการปั่นป่วนทำให้ขึ้น นน้ำ มันละลายฟlocs ที่ถูกแยกด้านบนแตกตกกลับมาใหม่
- ปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าเมื่อปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์เพิ่มขึ้น นจากค่าความเข้มข้น 0.2, 0.4 ถึง 0.8 กรัมต่อลิตร ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มสูงขึ้น นตามลำดับ เนื่องจากเมื่อปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เพิ่มสูงขึ้น นทำให้ปริมาณของสาร

โคแอกกูเลนที่มีมากเพียงพอในการทำลายเสถียรภาพของหยดน้ำมัน เกิดฟลอคที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นตามปริมาณสารโคแอกกูเลนที่เพิ่มขึ้น

- ชนิดของสารโคแอกกูเลน พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของเพอร์ริคคโลไรด์มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่าการเมื่อเปรียบเทียบกับบำบัดด้วยสารส้ม เนื่องจากฟลอคที่เกิดขึ้นจากเพอร์ริคคโลไรด์มีขนาดของฟลอคที่ใหญ่และมีความหนาแน่นของฟลอคสูงกว่าฟลอคที่เกิดจากสารส้มซึ่งมีความชอบน้ำสูง ซึ่งทำให้ฟลอคที่เกิดจากเพอร์ริคคโลไรด์มีความเหมาะสมต่อการชนและการเกาะติดระหว่างฟลอคกับฟองอากาศที่เกิดขึ้น ในการบำบัดด้วยกระบวนการ MIAF

ดังนั้น เมื่อนำกระบวนการ MIAF ที่ความเข้มข้นต่างๆที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาการทำให้ลอยนาน 30 นาที มาทำการเปรียบเทียบกับวิธีจาร์เทสต์ ในด้านประสิทธิภาพการบำบัด ระยะเวลาการบำบัด และค่าความเร็วแกรเดียนท์ (G) ซึ่งเป็นค่า  $G_{avg}$  เฉลี่ยจากกระบวนการกวนเร็ว และกวนช้า สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS แสดงได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด และค่าความเร็วแกรเดียนท์ (G) ระหว่างกระบวนการ MIAF ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาการทำให้ลอย 30 นาที กับวิธีจาร์เทสต์ สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS

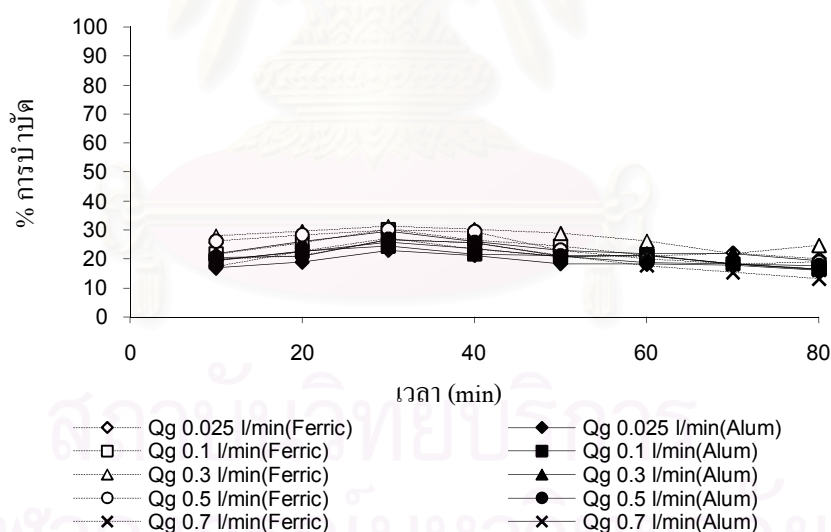
สารโคแอกกูเลน	ปริมาณ (g/l)	การบำบัด (%) MIAF	G ( $s^{-1}$ )	การบำบัด (%) จาร์เทสต์	$G_{avg}$ ( $s^{-1}$ )
สารส้ม	0.2	44.70	173.59	36.10	35.03
	0.4	79.73	173.59	65.77	35.03
	0.8	89.38	173.59	87.7	35.03
เพอร์ริคคโลไรด์	0.2	71.28	173.59	54.96	35.03
	0.4	93.67	173.59	85.67	35.03
	0.8	98.93	173.59	98.91	35.03

จากตารางที่ 4.7 ตารางแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด และค่าความเร็วแกรเดียนท์ (G) ระหว่างกระบวนการ MIAF กับวิธีจาร์เทสต์แสดงให้เห็นว่า

- ประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้จากกระบวนการ MIAF ของตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS สูงกว่าวิธีจาร์เทสต์

- ระยะเวลาในการบำบัดจากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการ MIAF มีประสิทธิภาพด้านระยะเวลาในการบำบัดสูงกว่าการบำบัดด้วยวิธีจาร์เทสต์ โดยกระบวนการ MIAF ใช้ระยะเวลา (30 นาที) ในการบำบัดสั้นกว่าวิธีจาร์เทสต์ (60 นาที) แต่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่า
- ค่า  $G$  ของกระบวนการ MIAF มีค่าเท่ากับ  $173.59 \text{ s}^{-1}$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า  $G_{\text{avg}}$  ที่ได้จากรีจาร์เทสต์ มีค่าเท่ากับ  $35.03 \text{ s}^{-1}$  และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่า  $G$  ของกระบวนการ MIAF กับค่า  $G$  ของวิธีจาร์เทสต์ในชั้นตอนทวนเร็ว ( $G=185.82$ ) และทวนช้า ( $G=30.53$ ) พบว่าค่า  $G$  ของกระบวนการ MIAF มีค่าใกล้เคียงกับค่า  $G$  ของชั้นตอนทวนเร็วแสดงให้เห็นว่ากระบวนการ MIAF มีประสิทธิภาพในด้านการทวนผสมดีใกล้เคียงกับวิธีจาร์เทสต์ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการทวนผสมสารเคมี และกระบวนการแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รูปที่ 4.22 แสดงผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับระยะเวลาการบำบัด ที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ด้วยสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดกับระยะเวลาการบำบัด ที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ด้วย สารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.22 พบว่าการบำบัดด้วยกระบวนการ MIAF ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที ด้วยสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ให้ประสิทธิภาพ

สูงสุด 29.54 และ 37.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยสามารถแบ่งช่วงการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการบำบัดได้ 3 ช่วงอย่างไม่ชัดเจน ได้แก่ 1) Free surface zone 2) Attachment zone 3) Breaking Zone เหมือนที่พบในกระบวนการ IAF โดยเมื่อนำกระบวนการ MIAF มาทำการเปรียบเทียบกับวิธีจาร์เทสต์ ในด้านประสิทธิภาพการบำบัด ระยะเวลา และค่าความเร็วแกรเดียนท์ (G) สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวCTAB สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด และค่าความเร็วแกรเดียนท์ (G) ระหว่างกระบวนการ MIAF และวิธีจาร์เทสต์ สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB

สารโคเอกกูแลนต์	ปริมาณ (g/l)	การบำบัด (%) MIAF	G (s <sup>-1</sup> )	การบำบัด (%) จาร์เทสต์	G <sub>avg</sub> (s <sup>-1</sup> )
สารส้ม	0.4	29.54	173.59	62.36	35.03
เพอร์ริกคลอไรด์	0.4	31.31	173.59	43.16	35.03

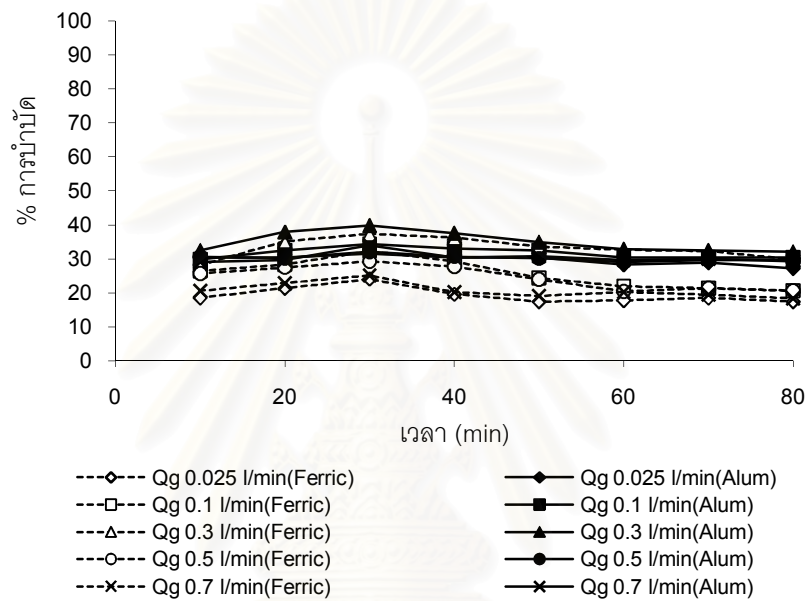
จากตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด และค่า G แสดงให้เห็นว่า

- ประสิทธิภาพการบำบัดกระบวนการ MIAF มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ต่ำกว่าวิธีจาร์เทสต์ เป็นผลเนื่องมาจากการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ด้วยสารส้มและเพอร์ริกคลอไรด์ซึ่งส่งผลให้เกิดฟล็อกของสารส้มและเพอร์ริกคลอไรด์ที่มีประสิทธิภาพในการทำลายเสถียรภาพน้อยมาก ดังนั้นแทนที่ฟองอากาศจะทำหน้าที่ในการแยกอนุภาคฟล็อกออกจากตัวอย่างน้ำเสีย แต่กลับจะส่งผลเสียโดยการทำให้เกิดการกวนผสมและการแตกตัวของฟล็อกแทนซึ่งส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัด ซึ่งต่างจากวิธีจาร์เทสต์ที่เมื่อสารส้มและเพอร์ริกคลอไรด์ในการบำบัดทำให้เกิดฟล็อกที่ไม่มีประสิทธิภาพในการทำลายเสถียรภาพมากนัก แต่ยังมีช่วงการตกตะกอนเป็นช่วงที่อนุภาคฟล็อกและนํ้ามันสามารถแยกได้เองตามธรรมชาติ
- ระยะเวลาการบำบัดพบว่าวิธีจาร์เทสต์จะใช้เวลาการบำบัดนานกว่า และให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่ากระบวนการ MIAF
- ค่า G (เหมือนในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS)

นอกจากนี้ เมื่อทำการเปรียบเทียบกระบวนการ MIAF กับกระบวนการ IAF พบว่ากระบวนการ MIAF ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่ากระบวนการ IAF (24.33 เปอร์เซ็นต์) ทั้งในการใช้สารส้มและเพอร์ริกคลอไรด์ เนื่องจากการเติมสารโคเอกกูแลนต์ส่งผลทำให้เกิดอนุภาค

ของฟล็อกที่ใหญ่มากกว่าหยดน้ำมันปกติส่งผลทำให้ความสามารถในการชนและการเกาะติดเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มสูงขึ้น

รูปที่ 4.23 แสดงผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การบำบัดกับระยะเวลาการบำบัด ที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดกับระยะเวลาการบำบัด ที่อัตราการไหลอากาศต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.23 พบว่าการบำบัดด้วยกระบวนการ MIAF ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อวินาที ระยะเวลาการทำให้อยู่ 30 นาที ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ให้ประสิทธิภาพสูงสุด 39.85 และ 37.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยสามารถแบ่งช่วงการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการบำบัดได้ 3 ช่วงอย่างไม่ชัดเจน ได้แก่ 1) Free surface zone 2) Attachment zone 3) Breaking Zone เหมือนที่พบในกระบวนการ IAF โดยเมื่อนำกระบวนการ MIAF มาทำการเปรียบเทียบกับวิธีจาร์เทสต์ ในด้านประสิทธิภาพการบำบัด ระยะเวลาการบำบัด และค่าความเร็วเกรเดียนท์ (G) สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 แสดงได้ดังตารางที่ 4.9



ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด และค่าความเร็วเกรเดียนท์ (G) ระหว่างกระบวนการ MIAF และวิธีจาร์เทสต์ สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20

สารโคแอกกูแลนต์	ปริมาณ (g/l)	การบำบัด (%) MIAF	G (s <sup>-1</sup> )	การบำบัด (%) จาร์เทสต์	G (s <sup>-1</sup> )
สารส้ม	0.4	39.85	173.59	43.59	35.03
เฟอริกคลอไรด์	0.4	37.25	173.59	45.04	35.03

จากตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด และค่า G แสดงให้เห็นว่า

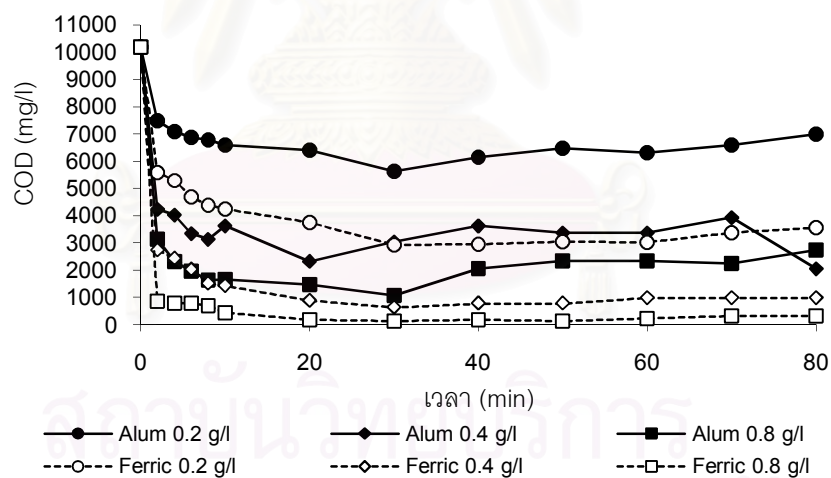
- ประสิทธิภาพของวิธีจาร์เทสต์ มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่ากระบวนการ MIAF เล็กน้อยเป็น ซึ่งเป็นเหตุผลเช่นเดียวกันกับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB
- ระยะเวลาการบำบัดพบว่าวิธีจาร์เทสต์จะใช้เวลานานกว่า แต่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่ากระบวนการ MIAF
- ค่า G (เหมือนในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS)

ทั้งนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างกระบวนการ MIAF กับ IAF (48.19 เปอร์เซ็นต์) พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของกระบวนการ IAF มีแนวโน้มที่สูงกว่า เนื่องจากการเติมสารส้มและเฟอริกคลอไรด์ส่งผลทำให้เกิดการดูดซับของไอออนบวกของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al<sup>3+</sup>) และเฟอริกไฮดรอกไซด์ (Fe<sup>3+</sup>) ดูดซับบนพื้นผิวของหยดน้ำมันส่งผลต่อการเกิดเสถียรภาพระหว่างหยดน้ำมันกับหยดน้ำมันและหยดน้ำมันกับฟองอากาศสูงเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการชนและการเกาะติดลดลง

ดังนั้นสามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ MIAF จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดเมื่อเลือกใช้ชนิดและปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ที่มีความเหมาะสมในการสร้างฟล็อกที่มีความสามารถในการสัมผัสกับฟองอากาศเพื่อเกิดการแยก ภายในระยะเวลาในการเติมอากาศที่เหมาะสม นอกจากนี้ ข้อดีอีกประการหนึ่งของกระบวนการ MIAF ที่เหนือกว่ากระบวนการโคแอกกูแลนต์คือมีความเป็นไปได้ที่กระบวนการ MIAF จะใช้ปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนต์ในการบำบัดน้อยกว่าแต่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกัน (%การบำบัด<sub>0.4 MIAF</sub> ≈ %การบำบัด<sub>0.8 Jar test</sub>) และมีความสามารถในการรวมผสมที่ใกล้เคียงกับกระบวนการโคแอกกูแลนต์ ( $G_{MIAF} \approx G_{Jar\ test}$ )

4.4.2 การศึกษาจลนศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการ MIAF

เป็นการทดลองเพื่อศึกษากลไกการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ SDS, CTAB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการ MIAF สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาการบำบัด โดยทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 0-30 นาที ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที (จากการทดลองที่ 4.4.1) และปริมาณสารส้ม และเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร (จากการทดลองที่ 4.3.1.2) สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาการทำให้ลอย ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 0-30 นาที ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที และปริมาณสารส้ม และเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร (การทดลองที่ 4.3.1.3 และ 4.3.1.4 ตามลำดับ) โดยรูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่า COD กับเวลาการบำบัด ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD กับเวลาการบำบัด ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.24 พบว่ากลไกการบำบัดด้วยกระบวนการ MIAF เมื่อใช้สารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์สามารถแบ่งช่วงของการเปลี่ยนแปลงได้ 3 ช่วงหลัก

- ช่วงที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงค่า COD ลดลงอย่างรวดเร็วเกิดในช่วง 0-10 นาที ของการบำบัดด้วยสารส้มที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร ทำให้ค่า COD ของ

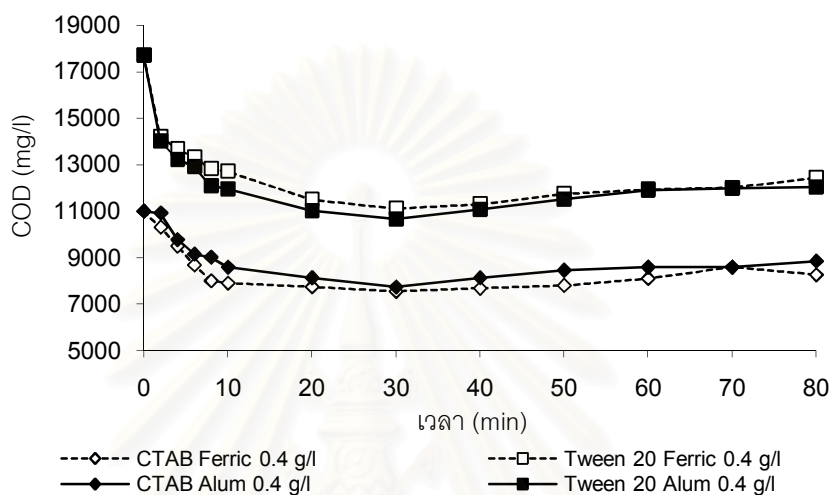
ตัวอย่างน้ำเสียลดลงจาก 10190.5-6607.29, 10190.5-3639.32 และ 10190.5-1672.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับเพอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, และ 0.8 กรัมต่อลิตร ทำให้ค่า COD ลดลงจาก 10190.5-4243.68, 10190.5-1483.02 และ 10190.5-448.137 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากในช่วงที่ 1 ปริมาณหยดน้ำมัน และปริมาณฟล็อกจากการทำลายเสถียรภาพด้วยสารโคแอกกูแลนต์ที่มีปริมาณมากทำให้ฟองอากาศมีโอกาสที่จะเกิดการชนและเกาะติดเกิดขึ้นได้มากส่งผลทำให้ค่า COD ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงนี้

- ช่วงที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ลดลงอย่างช้าๆในช่วง 10-30 นาที ของการบำบัดด้วยสารส้มที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร ทำให้ความเข้มข้นในการบำบัดลดลงจาก 6607.29-5635.36, 3639.32-3049.16 และ 1672.12-1081.96 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับเพอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร ทำให้ความเข้มข้นในการบำบัดลดลงจาก 4243.68-2926.8, 1483.02-644.63 และ 448.13-149.379 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องปริมาณของหยดน้ำมันและปริมาณฟล็อกที่เกิดจากการทำลายเสถียรภาพด้วยสารโคแอกกูแลนต์ที่มีปริมาณน้อยลง เนื่องจากความสามารถในการบำบัดที่สูงมากในช่วงที่ 1 ส่งผลทำให้โอกาสเกิดการชนและการเกาะติดในช่วงที่ 2 เกิดได้น้อยลงส่งผลทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า COD เกิดขึ้นได้ลดลงในช่วงที่ 2
- ช่วงที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่า COD เพิ่มสูงขึ้นเกิดในช่วง 30-80 นาที ของการบำบัดด้วยสารส้มที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, และ 0.8 กรัมต่อลิตร ทำให้ค่า COD ในการบำบัดเพิ่มขึ้นจาก 5635.36-6995.95, 3049.16-3934.4 และ 1081.96-2754.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับเพอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร ทำให้ค่า COD ในการบำบัดเพิ่มขึ้นจาก 2926.8-3560.94, 644.63-991.47 และ 49.379-348.551 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากการเติมอากาศในกระบวนการบำบัดที่นานเกินไปจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง ดังสาเหตุที่กล่าวไว้ในข้อ 4.4.1)

จากการทดลองสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อกลไกการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ได้แก่ 1) ระยะเวลาการเติมอากาศ โดยค่า COD ในการบำบัดจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 2-10 นาที ของการบำบัด จากนั้นการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพจะลดลงอย่างช้าๆในช่วง 10-30 นาที 2) ชนิดของสารโคแอกกูเลชั่น จะมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงของค่า COD โดยพบว่าเมื่อใช้เพอร์ริคคลอไรด์ในกระบวนการ MIAF จะให้อัตราการลดลงของค่า COD ที่สูงกว่าการใช้สารส้มในกระบวนการ MIAF ในปริมาณเท่ากัน 3) ความ

เข้มข้นของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ โดยการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มสูงขึ้น ตามปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.25 แสดงผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่า COD กับระยะเวลาการบำบัด ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ต่างๆ ของตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD กับระยะเวลาการบำบัด ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที

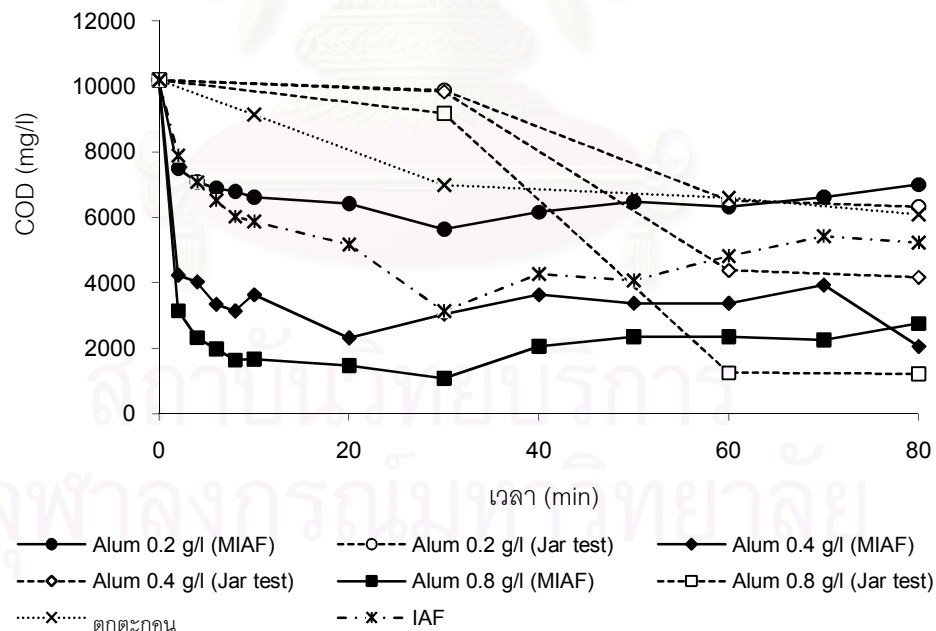
จากรูปที่ 25 พบว่ากลไกการบำบัดด้วยกระบวนการ MIAF สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 เมื่อใช้สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ยังคงสามารถแบ่งช่วงของการเปลี่ยนแปลงได้ 3 ช่วงหลัก ซึ่งช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงค่า COD ที่เกิดขึ้น มีลักษณะใกล้เคียงกับที่เกิดในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS คือ 1) ช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า COD ลดลงอย่างรวดเร็ว 2) ช่วงการเปลี่ยนแปลงค่า COD ลดลงอย่างช้าๆ 3) ช่วงการเปลี่ยนค่า COD มีแนวโน้มที่สูงขึ้น

จากการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกลไกการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 และ CTAB ได้แก่ 1) ระยะเวลาการเติมอากาศ โดยค่า COD ในการบำบัดจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 2-10 นาที ของการบำบัด จากนั้น การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพจะลดลงอย่างช้าๆ ในช่วง 10-30 นาที และกลับเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 30-80 นาที 2) ชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงของค่า COD โดยพบว่าเมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์ในกระบวนการ MIAF จะให้อัตราการลดลงของค่า COD ใกล้เคียงกับการใช้สารส้ม

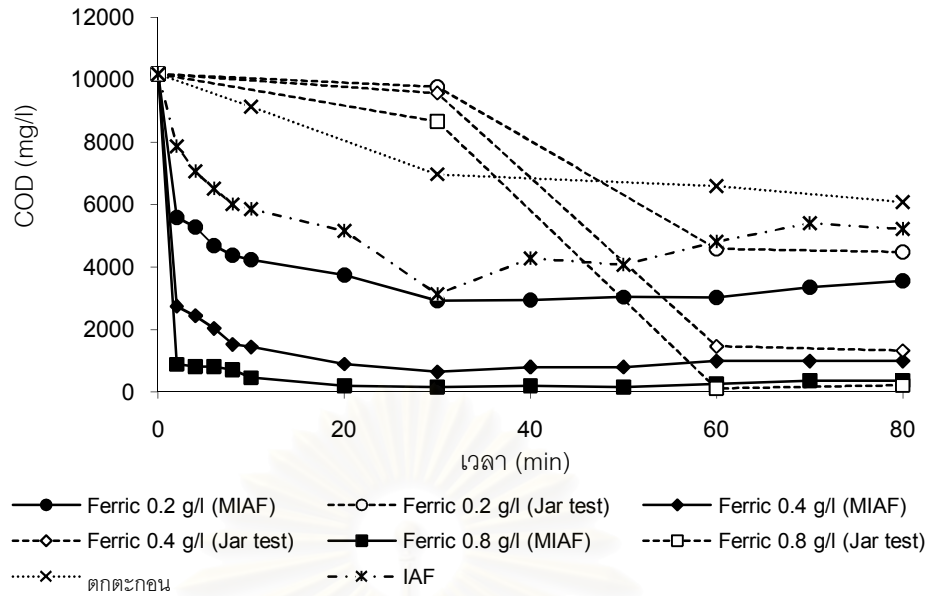
#### 4.5 การวิเคราะห์ค่าคงที่ของปฏิกิริยาของกลไกการบำบัดในกระบวนการต่างๆ

4.5.1 การศึกษาจลนศาสตร์การบำบัดของกระบวนการอินดิวิจ์แอร์โฟลเทชัน (IAF) กระบวนการโมดิฟายอินดิวิจ์แอร์โฟลเทชัน (MIAF) กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และ กระบวนการตกตะกอน (Sedimentation)

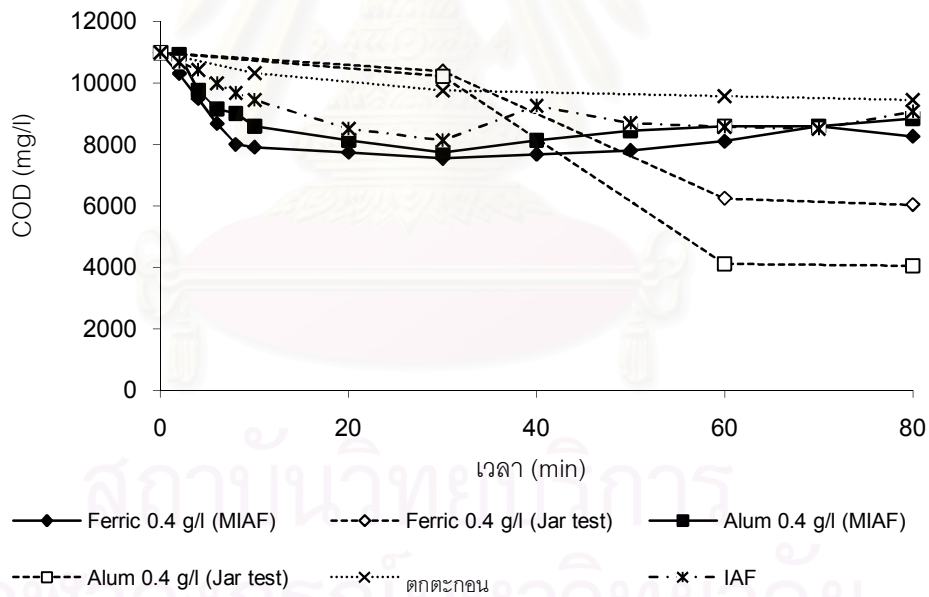
โดยในรูปที่ 4.26 และ 4.27 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่า COD กับเวลาในการบำบัดด้วยกลไกกระบวนการอินดิวิจ์แอร์โฟลเทชัน (IAF) กระบวนการโมดิฟายอินดิวิจ์แอร์โฟลเทชัน (MIAF) โคแอกกูเลชัน (Jar test) และกระบวนการตกตะกอน ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS โดยใช้ สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร และในรูปที่ 4.28 และ 4.29 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่า COD กับเวลาในการบำบัดด้วยกลไกกระบวนการอินดิวิจ์แอร์โฟลเทชัน (IAF) กระบวนการโมดิฟายอินดิวิจ์แอร์โฟลเทชัน (MIAF) โคแอกกูเลชัน (Jar test) และกระบวนการตกตะกอน ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด CTAB และ Tween 20 โดยใช้ สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร



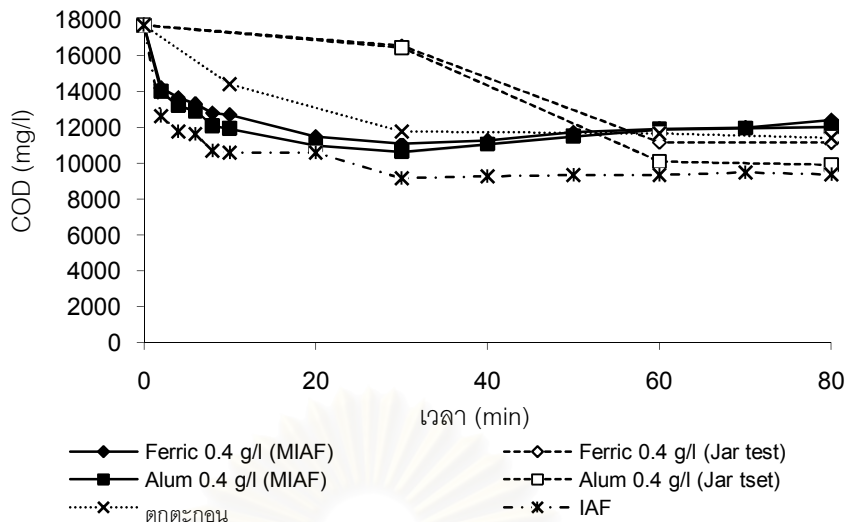
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD กับระยะเวลาการบำบัดด้วยกลไกของกระบวนการต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าCOD กับระยะเวลาการบำบัดด้วยกลไกของกระบวนการต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวSDS ด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าCOD กับระยะเวลาการบำบัดด้วยกลไกของกระบวนการต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวDTAB ด้วยสารส้ม และ เฟอร์ริกคลอไรด์



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าCOD กับระยะเวลาการบำบัดด้วยกลไกของกระบวนการต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวween 20 ด้วยสารส้ม และ เฟอร์ริกคลอไรด์

4.5.2 วิธีการคำนวณค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) และค่าคงที่ของปฏิกิริยา (log k) ในกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF

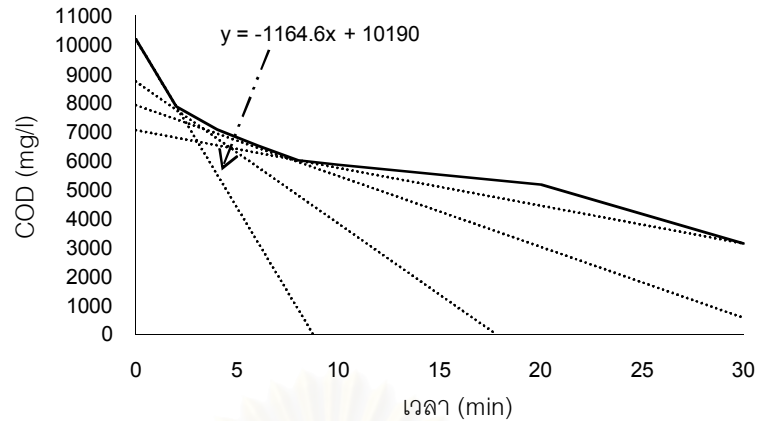
จากผลการศึกษาจลนศาสตร์ (หัวข้อที่ 4.5.1) การบำบัดของกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF เพื่อให้เข้าใจถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ในงานวิจัยนี้ จึงได้ประยุกต์ใช้ผลการศึกษากลไกการบำบัดของกระบวนการ IAF และ MIAF เพื่อคำนวณหาค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (log k) ด้วยวิธี Differentials method จากสมการที่ (4.2) และสมการที่ (4.3)

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k(C)^n \tag{4.2}$$

จากนั้นนำสมการที่(4.2) ทำการใส่ลอการิทึมทำให้ได้สมการที่ (4.3)

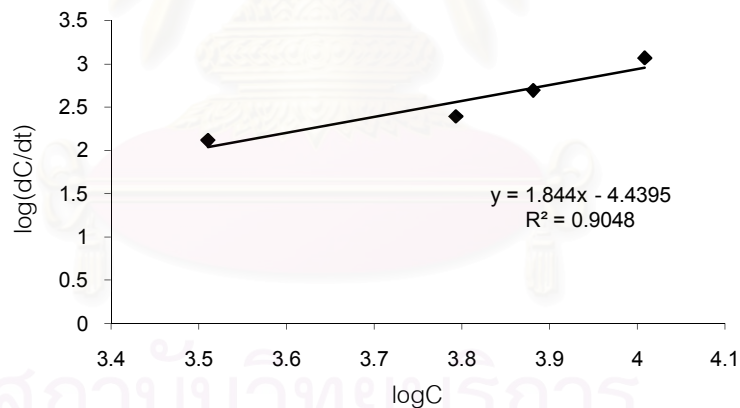
$$\log_{10} \left( -\frac{dC_A}{dt} \right) = \log_{10}k + n\log_{10}C_A \tag{4.3}$$

วิธีการหาค่า n และ log k แสดงดังรูปที่ 4.30 และ 4.31 เป็นตัวอย่างการหาค่า n และ log k ของการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ IAF ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที เริ่มจากการเขียนกราฟระหว่างค่า COD ที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาเพื่อทำการหาค่า  $\left( -\frac{dC}{dt} \right)$  จากค่าความชันของเส้นสัมผัสแสดงดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ตัวอย่างการหาค่า  $\left(-\frac{dC}{dt}\right)$  ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ของกระบวนการ IAF ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.30 จากสมการเส้นตรง  $y = -1164.6x + 10190$  ทำให้ทราบค่า  $\left(-\frac{dC}{dt}\right)$  มีค่าเท่ากับ -1164.6 จากนั้นนำค่า  $\left(\frac{dC}{dt}\right)$  ที่หาได้จากรูปที่ 4.30 มาทำการใส่ลอการิทึมตามสมการที่ (4.2) และทำการเขียนกราฟระหว่าง  $\log\left(\frac{dC}{dt}\right)$  กับเวลาเพื่อทำการหาค่าความชัน (n) และจุดตัด ( $\log k$ ) ต่อไปดังรูปที่ 4.31

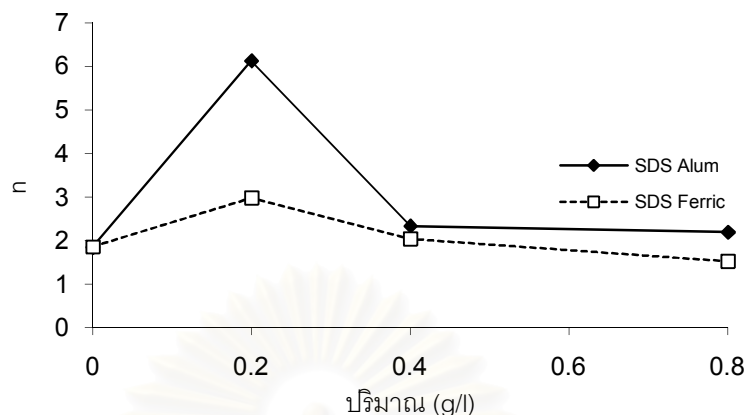


รูปที่ 4.31 ตัวอย่างการหาค่า n และค่า  $\log k$  ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ IAF ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที

จากสมการเส้นตรง  $y = 1.844x - 4.4395$  (รูปที่ 4.31) ทำให้ทราบว่าค่า n มีค่าเท่ากับ 1.844 และค่า  $\log k$  เท่ากับ 4.4395 ดังนั้นเราสามารถประยุกต์ใช้วิธีการข้างต้นในการหาค่า n และ  $\log k$  ที่ความสอดคล้องกับข้อมูลทางจลนศาสตร์ของการบำบัดที่กล่าวถึงข้างต้นได้ โดยรูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า n กับปริมาณเฟอริกคลอไรด์ และสารส้มในการบำบัด

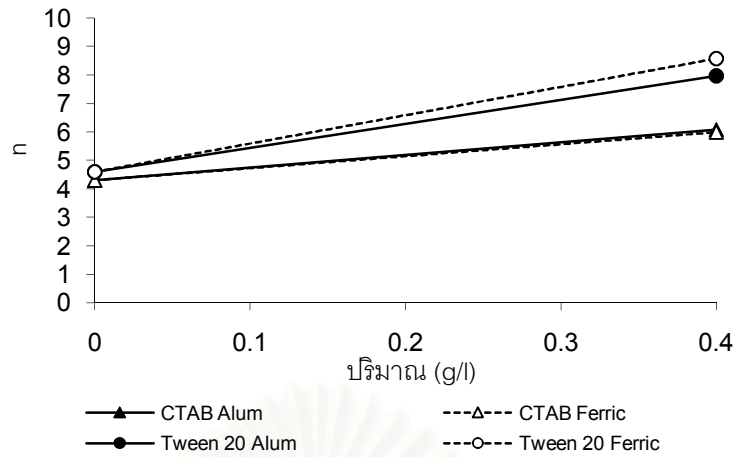


ตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF ที่ความเข้มข้นในช่วง 0-0.8 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $n$  กับปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS

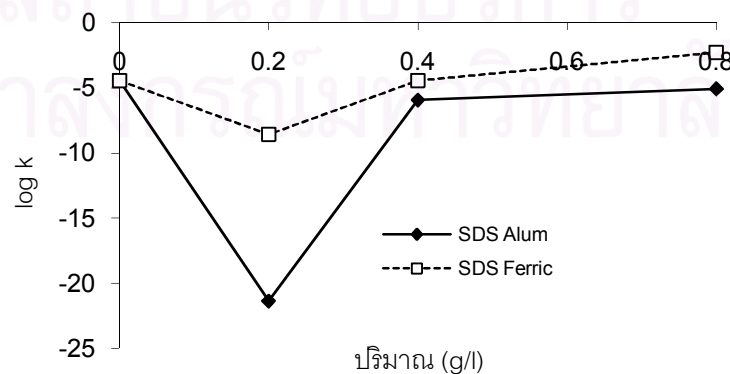
จากรูปที่ 4.32 พบว่ากระบวนการ IAF ให้ค่า  $n$  เท่ากับ 1.844 เมื่อทำการเติมสารส้มในกระบวนการ MIAF ที่ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร ให้ค่า  $n$  เพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.1134 แต่เมื่อทำการเติมสารส้มที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร กลับส่งผลทำให้ค่ามีแนวโน้มที่ลดลงเท่ากับ 2.331 และ 2.1898 ตามลำดับ ในกรณีที่ใช้เฟอริกคลอไรด์ในกระบวนการ MIAF ที่ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร ให้ค่า  $n$  เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.968 และเมื่อทำการเติมเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร ส่งผลทำให้ค่ามีแนวโน้มที่ลดลงเท่ากับ 2.0327 และ 1.5121 ตามลำดับ โดยกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่สูงขึ้น จะส่งผลทำให้ค่า  $n$  ของปฏิกิริยาลดลง และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่า  $n$  ที่เกิดขึ้น ระหว่างใช้สารส้ม และเฟอริกคลอไรด์พบว่าค่า  $n$  ที่ได้จากการใช้สารส้มมีค่า  $n$  มีค่าที่สูงกว่าค่า  $n$  ที่ได้จากการใช้เฟอริกคลอไรด์ นอกจากนี้ ยังพบว่าความเข้มข้นของสารส้มและเฟอริกคลอไรด์ที่เหมาะสม (0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ค่าลำดับของปฏิกิริยาที่ได้นี้ มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากกระบวนการ IAF โดยอยู่ในช่วง 1.5-2.5 และความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $n$  กับปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 แสดงได้ดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $n$  กับปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20

จากรูปที่ 4.33 ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB พบว่ากระบวนการ IAF ให้ค่า  $n$  เท่ากับ 4.3017 เมื่อทำการเติมสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในกระบวนการ MIAF ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ให้ค่า  $n$  เพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.0834 และ 5.9948 ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 พบว่ากระบวนการ IAF ให้ค่า  $n$  เท่ากับ 4.6025 เมื่อทำการเติมสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในกระบวนการ MIAF ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ให้ค่า  $n$  เพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.9753 และ 8.5732 ตามลำดับ โดยอาจกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ (0.4 กรัมต่อลิตร) ซึ่งมีปริมาณหรือความสามารถไม่เพียงพอที่จะส่งผลต่อการลดลงของค่า  $n$  เหมือนในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน SDS ที่กล่าวถึงข้างต้น

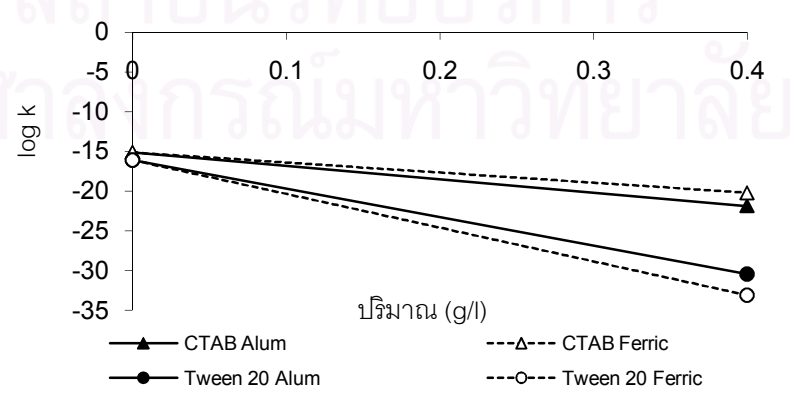
ส่วนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\log k$  กับปริมาณสารส้มและเฟอริกคลอไรด์สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\log k$  กับปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS

จากรูปที่ 4.34 พบว่ากระบวนการ IAF ให้ค่า  $\log k$  เท่ากับ -4.4395 เมื่อทำการเติมสารส้มในกระบวนการ MIAF ที่ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร ให้ค่า  $\log k$  ลดลงเท่ากับ -21.337 และเมื่อทำการเติมสารส้มที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร ส่งผลทำให้ค่า  $\log k$  มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ -5.929 และ -5.0642 ตามลำดับ ในกรณีที่ใช้เฟอริกคลอไรด์ในกระบวนการ MIAF ที่ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร ให้ค่า  $\log k$  ลดลงเท่ากับ -8.566 และเมื่อทำการเติมเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร ส่งผลทำให้ค่า  $\log k$  มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ -4.4415 และ -2.2718 ตามลำดับ จากการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\log k$  ที่เกิดขึ้นพบว่าในกรณีที่เติมสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร จะส่งผลทำให้ค่า  $\log k$  มีค่าที่ลดลง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของค่า  $n$  ที่เพิ่มขึ้น ในช่วงความเข้มข้นเดียวกัน ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร จะส่งผลทำให้ค่า  $\log k$  สูงขึ้นตามปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เพิ่มขึ้น ค่า  $n$  ลดลงและเริ่มคงที่ในช่วง 1.5-2.5) นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงของค่า  $\log k$  ที่เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ยังมีความสอดคล้องกับการเพิ่มสูงขึ้นของประสิทธิภาพการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ตามปริมาณของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น โดยความสัมพันธ์ของค่า  $\log k$  และประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้จากสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์จะมีความสัมพันธ์กันดังนี้ โดย  $\log k_{\text{เฟอริกคลอไรด์}} > \log k_{\text{สารส้ม}}$  และ  $\% \text{การบำบัด}_{\text{เฟอริกคลอไรด์}} > \% \text{การบำบัด}_{\text{สารส้ม}}$  กล่าวคือการใช้เฟอริกคลอไรด์ในกระบวนการ MIAF มีผลต่อการให้ค่า  $\log k$  และเปอร์เซ็นต์การบำบัดที่สูงกว่าการใช้สารส้ม ในขณะที่เดียวกันยังส่งผลต่อการลดลงของค่า  $n$  ได้มากกว่าสารส้มเช่นกัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยา หรือประสิทธิภาพของกระบวนการการบำบัดจะส่งผลทำให้เกิดค่า  $n$  และ  $\log k$  ในลักษณะที่แปรผกผันซึ่งกันและกัน ( $n \propto \frac{1}{\log k}$ ) และความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\log k$  กับปริมาณเฟอริกคลอไรด์ และสารส้มในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 แสดงได้ดังรูปที่ 4.35

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\log k$  กับปริมาณสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20

จากรูปที่ 4.35 ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน CTAB พบว่ากระบวนการ IAF ให้ค่า  $\log k$  เท่ากับ -15.083 โดยเมื่อทำการเติมสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในกระบวนการ MIAF ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ส่งผลให้ค่า  $\log k$  ลดลงเท่ากับ -21.856 และ -20.23 ตามลำดับ สำหรับในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 พบว่ากระบวนการ IAF ให้ค่า  $\log k$  เท่ากับ -16.087 เมื่อทำการเติมสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ในกระบวนการ MIAF ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร ให้ค่า  $\log k$  ลดลงเท่ากับ -30.411 และ -33.073 ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์ของค่า  $\log k$  ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 พบว่าที่ความเข้มข้นของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ 0.4 กรัมต่อลิตร การเพิ่มสูงขึ้นของค่า  $\log k$  จะให้ผลที่สอดคล้องกับการลดลงของค่า  $n$  ( $n \propto \frac{1}{\log k}$ ) ซึ่งเกิดขึ้นเช่นเดียวกับในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\log k$  กับประสิทธิภาพการบำบัดพบว่าการเพิ่มสูงขึ้นของค่า  $\log k$  มีความสอดคล้องกับการเพิ่มสูงขึ้นของประสิทธิภาพการบำบัดในตัวอย่างน้ำเสียเดียวกัน

จากผลการทดลองศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการ MIAF และกระบวนการ IAF ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, Tween 20 และ CTAB เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์ค่า  $n$  และ  $\log k$  ของกลไกการบำบัดแบบต่างๆสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ค่า  $n$  และ  $\log k$  ได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ตารางสรุปผลของค่า  $n$ ,  $\log k$  และประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ MIAF

สารลดแรงตึงผิว	โคแอกกูแลนต์	ปริมาณ (g/l)	ประสิทธิภาพ (%)	$n$	$\log k$
SDS	สารส้ม	0.2	44.7	6.1134	-21.337
		0.4	79.73	2.331	-5.929
		0.8	89.38	2.1898	-5.0642
	เฟอริกคลอไรด์	0.2	71.28	2.968	-8.566
		0.4	93.67	2.0327	-4.4415
		0.8	98.93	1.5121	-2.2718
CTAB	สารส้ม	0.4	29.54	6.0834	-21.856
	เฟอริกคลอไรด์	0.4	37.83	5.9948	-20.23
Tween 20	สารส้ม	0.4	39.85	7.9753	-30.411
	เฟอริกคลอไรด์	0.4	37.25	8.5732	-33.073

จากตารางที่ 4.10 สามารถสรุปได้ว่าค่า  $n$  และ  $\log k$  มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, Tween 20 และ CTAB ด้วยกระบวนการ MIAF โดยค่า  $n$  จะแปรผกผันกับประสิทธิภาพการบำบัด ( $n \propto \frac{1}{\% \text{การบำบัด}}$ ) และค่า  $\log k$  ( $\log k \propto \frac{1}{\log k}$ ) ของกระบวนการบำบัด นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของค่า  $\log k$  จะมีความสอดคล้องกับการเพิ่มสูงขึ้นของประสิทธิภาพการบำบัด (Oliveira Lima และคณะ, 2008)

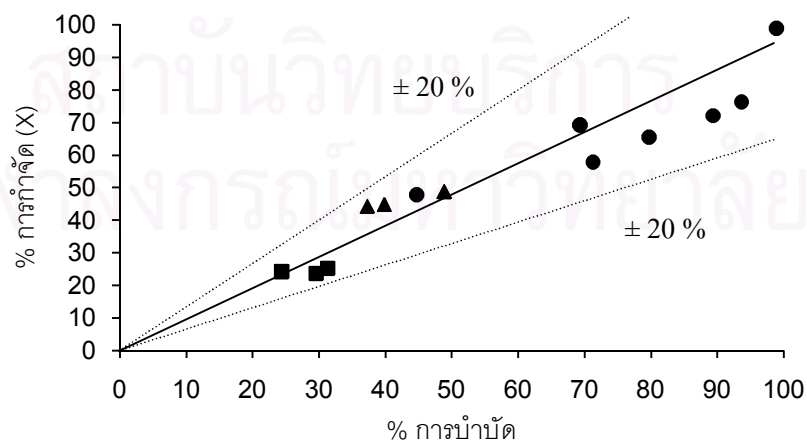
ทั้งนี้จากความสัมพันธ์ของค่า  $n$ ,  $\log k$  และประสิทธิภาพการบำบัด (ตารางที่ 4.10) ในกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF ที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาสร้างสมการในการทำนายประสิทธิภาพของการบำบัด (Prediction model) ตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวด้วยกระบวนการ MIAF ได้ดังสมการที่ (4.4)

$$\% \text{การบำบัด}_{MIAF} = \left(\frac{N}{K}\right) \times \% \text{การบำบัด}_{IAF} \quad (4.4)$$

$$K = \left(\frac{\log k_{MIAF}}{\log k_{IAF}}\right) \quad \text{อัตราส่วนระหว่าง } \log k \text{ กระบวนการ MIAF ต่อ } \log k \text{ กระบวนการ IAF}$$

$$N = \left(\frac{n_{MIAF}}{n_{IAF}}\right) \quad \text{อัตราส่วนระหว่าง } n \text{ กระบวนการ MIAF ต่อ } n \text{ กระบวนการ IAF}$$

ดังนั้นเมื่อนำสมการที่(4.4) มาทำการทดสอบการคำนวณหาประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ MIAF โดยทำการเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ MIAF ที่ได้จากการทดลองการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ชนิด SDS, Tween 20 และ CTAB จะได้ผลแสดงดังในรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัดจากการคำนวณ กับเปอร์เซ็นต์การบำบัดจากการทดลอง ในกระบวนการ MIAF

จากรูปที่ 4.36 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ MIAF จากการทดลอง กับประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ MIAF จากการคำนวณมีความแตกต่างของค่าที่ได้ อยู่ในช่วง  $\pm 20\%$  โดยประโยชน์ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $n$  และ  $\log k$  (สมการที่ 4.4) มีดังนี้

- ทำให้สามารถทราบประสิทธิภาพการบำบัดอย่างคร่าวๆได้เมื่อทราบชนิดและค่าความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่จะประยุกต์ใช้ในระบบบำบัด โดยอาศัยค่า  $n$  และ  $\log k$  ที่ความเข้มข้นต่างๆ
- เป็นสมการที่ทำให้สามารถมองเห็นภาพรวมของประสิทธิภาพการบำบัด โดยรวมความสำคัญของอันดับปฏิกิริยา ( $n$ ) และค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยา ( $\log k$ ) จากการใช้สารโคแอกกูแลนต์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวเพื่อให้ได้ค่า  $N/K$  ที่เหมาะสมสอดคล้องต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด

ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ MIAF จากการทดลองกับประสิทธิภาพของกระบวนการ MIAF ที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ (4.4)

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการ MIAF จากการทดลองกับประสิทธิภาพของกระบวนการ MIAF จากการคำนวณ

ตัวอย่าง	กระบวนการทำให้ลอย	การบำบัด (%)	การบำบัด(X) (%)	ความแตกต่าง (%)
SDS	IAF	69.28	69.28	0
	สารส้ม 0.2 g/l MIAF	44.7	47.79	6.911
	สารส้ม 0.4 g/l MIAF	79.73	65.58	-17.75
	สารส้ม 0.8 g/l MIAF	89.38	72.12	-19.31
	เฟอริกคลอไรด์ 0.2 g/l MIAF	71.28	57.79	-18.92
	เฟอริกคลอไรด์ 0.4 g/l MIAF	93.67	76.34	-18.51
	เฟอริกคลอไรด์ 0.8 g/l MIAF	98.93	111.02	12.22
Tween 20	IAF	48.91	48.91	0
	สารส้ม 0.4 g/l MIAF	39.85	44.83	12.50
	เฟอริกคลอไรด์ 0.4 g/l MIAF	37.25	44.31	18.97
CTAB	IAF	24.33	24.33	0
	สารส้ม 0.4 g/l MIAF	29.54	29.54	-19.62
	เฟอริกคลอไรด์ 0.4 g/l MIAF	31.32	31.32	-19.29

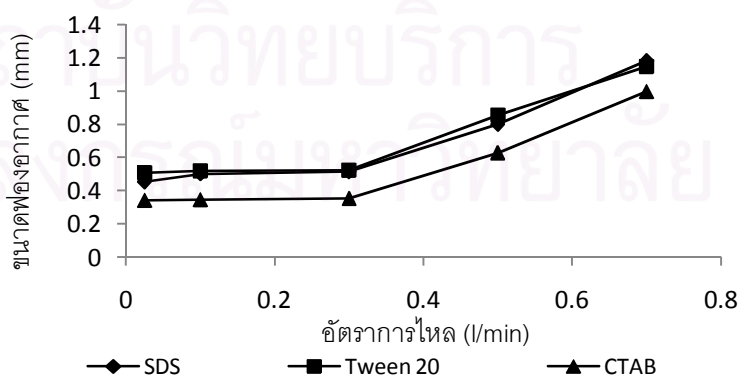
จากตารางที่ 4.11 ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ทางเคมีในกระบวนการ MIAF แต่ยังคงขาดความเข้าใจถึงปัจจัยด้านอุทกพลศาสตร์ ได้แก่ ขนาดฟองอากาศ และพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ (a) นอกจากนี้ ค่าความเร็วแรงแย่ง (G) ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการบอกถึงความปั่นป่วนของระบบ เพื่อให้เข้าถึงปัจจัยที่สำคัญต่างๆซึ่งจะได้ทำการศึกษาในหัวข้อถัดไป

#### 4.6 การวิเคราะห์ตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศในกระบวนการอินดิวิจแอโรโฟลเทชัน (IAF) และไมติฟายอินดิวิจแอโรโฟลเทชัน (MIAF)

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางด้านอุทกพลศาสตร์และค่าพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ (a) ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวด้วยกระบวนการทำให้ลอย ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เข้าใจในกลไกของการบำบัดด้วยการทำให้ลอยได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ทำการเก็บข้อมูลโดยการถ่ายภาพฟองอากาศในกระบวนการ IAF และ กระบวนการ MIAF ด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงความเร็ว 100 ภาพต่อวินาที (Basler camera) และทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยชุดคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ภาพถ่าย (Pylon Store and Bubble measuring program)

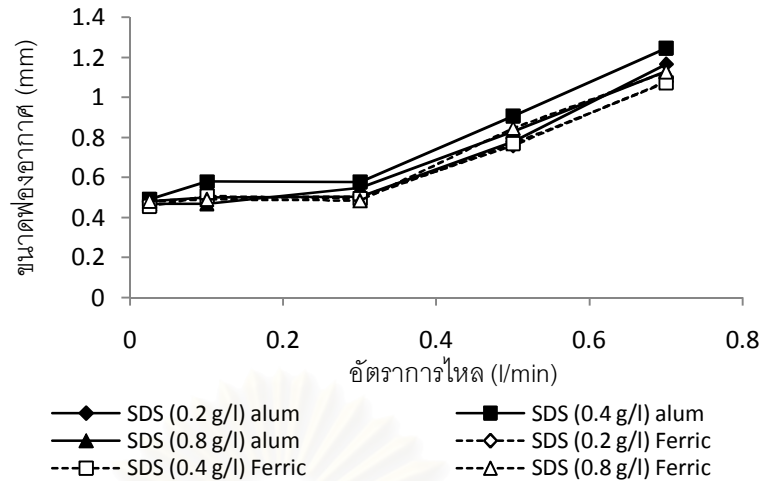
##### 4.6.1 การศึกษาขนาดฟองอากาศ ( $D_b$ ) ของกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF

รูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $D_b$  กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ IAF ส่วนในรูปที่ 4.38 และ 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $D_b$  กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ MIAF สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS และตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 กับ CTAB ตามลำดับ

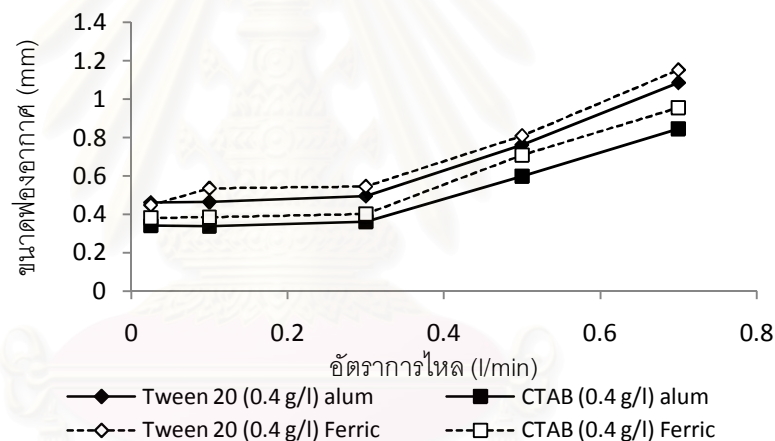


รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟองอากาศกับอัตราการไหลอากาศในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ชนิด (SDS, CTAB และ Tween20) ด้วยกระบวนการ

IAF



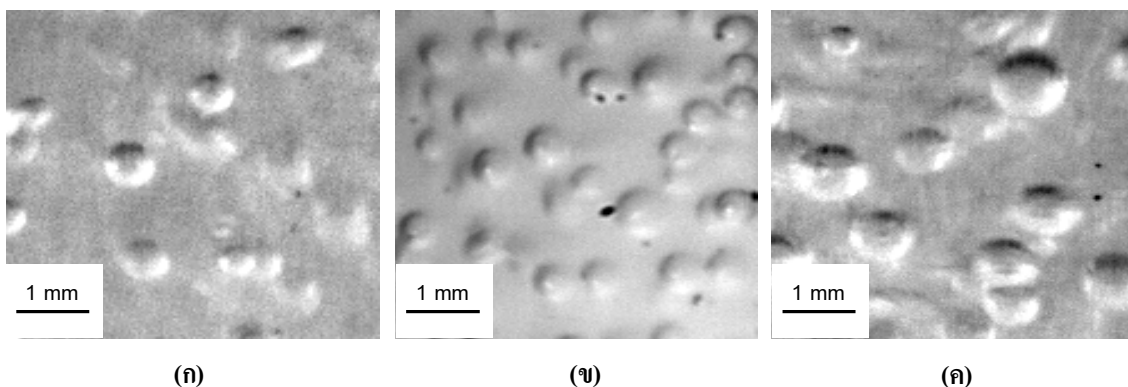
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟองอากาศกับอัตราการไหลอากาศที่ความเข้มข้นสารโคเอกกูแลนท์ต่างๆ ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟองอากาศกับอัตราการไหลอากาศในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 ที่ความเข้มข้นสารโคเอกกูแลนท์ 0.4 กรัมต่อลิตร ด้วยกระบวนการ MIAF

จากรูปที่ 4.37-4.39 พบว่าในกระบวนการ IAF และ MIAF ที่อัตราการไหลของอากาศที่ต่ำในช่วง 0.025-0.3 ลิตรต่อนาที การเปลี่ยนแปลงขนาดฟองอากาศแนวโน้มคงที่เนื่องจากขนาดของรูเดิมอากาศแบบแข็ง (Rigid Orifice) เป็นตัวกำหนดขนาดของฟองอากาศ แต่เมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 0.5-0.7 ลิตรต่อนาที พบว่าขนาดของฟองอากาศมีขนาดที่เพิ่มสูงขึ้น โดยเป็นผลมาจากการชนและการรวมตัวกันของฟองอากาศที่มีจำนวนมากขึ้นในระบบ (Painmanakul และคณะ 2005) ดังแสดงในรูปที่ 4.40 เป็นลักษณะของฟองอากาศที่เกิดขึ้นในกระบวนการ IAF และ MIAF ที่อัตราการไหล 0.025(ก), 0.3(ข) และ 0.7(ค) ลิตรต่อนาที





รูปที่ 4.40 ลักษณะฟองอากาศที่อัตราการไหลอากาศ 0.025(ก), 0.3(ข) และ 0.7(ค) ลิตรต่อนาที ตามลำดับในกระบวนการ IAF และ MIAF

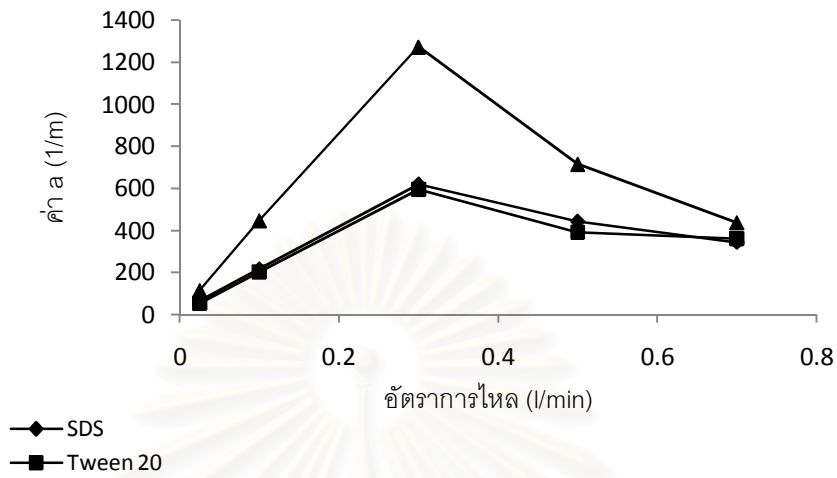
นอกจากนี้ เมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดฟองอากาศที่เกิดในแต่ละตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, Tween 20 และ CTAB พบความแตกต่างเกิดขึ้นดังนี้  $D_{B\text{ SDS}} = D_{B\text{ Tween 20}} > D_{B\text{ CTAB}}$  โดยความแตกต่างของขนาดที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลเนื่องจาก

- แรงตึงผิวที่มีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย โดย CTAB มีค่าแรงตึงผิว ( $\sigma_L$ ) ที่ต่ำมากที่สุดหรืออาจกล่าวได้ว่าขนาดของฟองอากาศแปรผันโดยตรงกับค่าแรงตึงผิว ( $D_B \propto \sigma_L$ ) นอกจากนี้ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว CTAB ยังมีความสามารถในการดูดซับที่ผิวฟองอากาศได้เร็วและมากกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่น (Painmanakul และคณะ 2005) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งเหตุหลักที่ทำให้ฟองอากาศในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB มีขนาดเล็กที่สุด
- ความเข้มข้นของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ที่ทำการเติมในกระบวนการ MIAF มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของฟองอากาศที่เกิดขึ้นสังเกตได้จากรูปที่ 4.38 และ 4.39

4.6.2 การศึกษาค่าพื่นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ ( $a$ ) และค่าความเร็วแกรเดียนท์ ( $G$ ) ของกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF

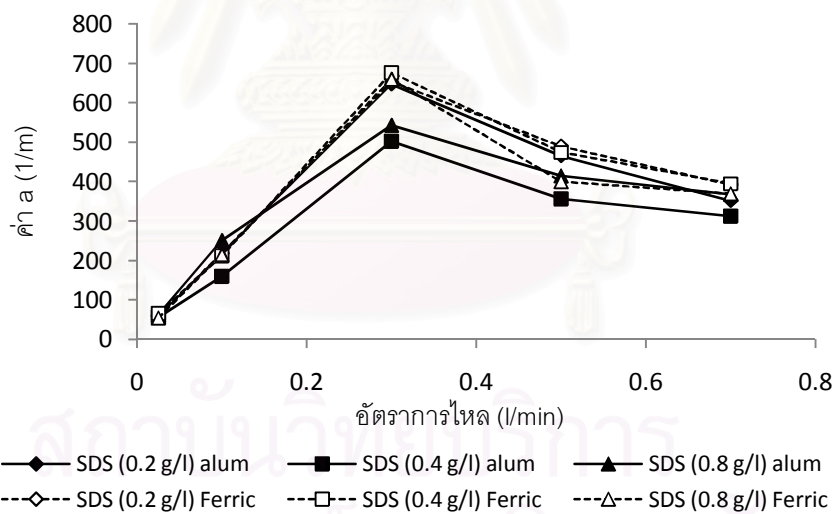
รูปที่ 4.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $a$  กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ IAF ส่วนในรูปที่ 4.42 และ 4.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $a$  กับอัตราการไหลอากาศที่ทำการเติมในกระบวนการ MIAF สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS และตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 และ CTAB ตามลำดับ โดยค่า  $a$  สามารถคำนวณตามสมการ (4.5)

$$a = N_B \times \frac{S_B}{V_{TOTAL}} = f_B \times \frac{H_L}{U_B} \times \frac{S_B}{V_{TOTAL}} \tag{4.5}$$



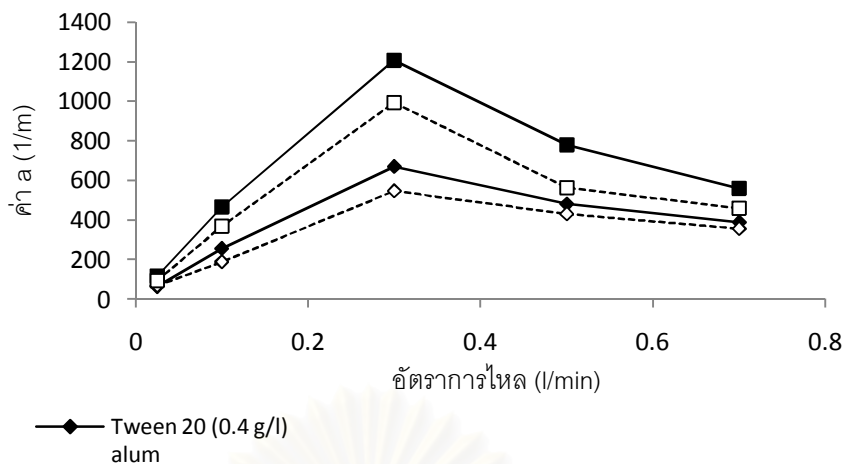
รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะกับอัตราการไหลอากาศ ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ชนิด (SDS, CTAB และ Tween20) ด้วยกระบวนการ

IAF



รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะกับอัตราการไหลอากาศที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ต่างๆ ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วย

กระบวนการ MIAF



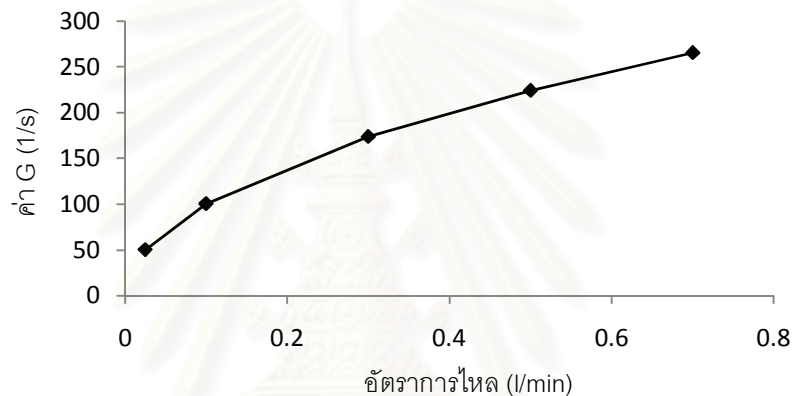
รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $a$  ที่ผิวสัมผัสจำเพาะกับอัตราการไหลอากาศที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนท์ต่างๆ ในตัวอย่างนี้ เราเขียนเป็นอนันต์ ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการ MIAF

จากในรูปที่ 4.41 สำหรับกระบวนการ IAF และรูปที่ 4.42 และ 4.43 สำหรับกระบวนการ MIAF ในการบำบัดตัวอย่างนี้ เราเขียนเป็นอนันต์ ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS และ CTAB กับ Tween 20 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าทั้งกระบวนการ IAF และ MIAF ให้แนวโน้มในการเปลี่ยนค่า  $a$  ที่ใกล้เคียงกันเป็นผลเนื่องมาจากขนาดฟองอากาศ ( $D_B$ ) ที่ใกล้เคียงกัน (สารส้ม และ เพอร์ริคโคลไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัมต่อลิตร) ส่งผลทำให้ค่าความถี่ฟองอากาศ ( $f_B$ ) และค่าความเร็วฟองอากาศ ( $U_B$ ) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดฟองอากาศทำให้ค่าที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้พบว่าค่า  $a$  มีค่าสูงที่สุดเกิดที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที เนื่องจากที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที นั้นทำให้เกิดขนาดฟองอากาศขนาดเล็ก (ใกล้เคียงกับที่ 0.1 ลิตรต่อนาที) ซึ่งส่งผลต่อค่าความถี่และจำนวนฟองอากาศที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ขนาดฟองอากาศขนาดเล็กยังส่งผลต่อความเร็วในการลอยตัวของฟองอากาศที่มีค่าต่ำประมาณ 0.05-0.06 เมตร ต่อวินาที (Grace และ Wairegi, 1986) ซึ่งส่งผลดีต่อระยะเวลาการกักของฟองอากาศภายในคอลัมน์ ดังนั้นด้วยปัจจัยทั้งสองอย่างนี้จึงส่งผลทำให้มีปริมาณฟองอากาศและพื้นที่ผิวสัมผัสของฟองอากาศที่อยู่ในระบบที่มีค่าสูงที่สุด ซึ่งพบว่าสามารถให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัดกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF นอกจากนี้ ค่า  $a$  มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มสูงขึ้นที่ 0.5 และ 0.7 ลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการชนและรวมตัวกันของฟองอากาศทำให้ขนาดและความเร็วของฟองอากาศเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของฟองอากาศที่อยู่ในระบบลดลง และสอดคล้องกับการลดลงของประสิทธิภาพในการบำบัดอีกทางหนึ่งด้วย

ดังนั้น ในการบำบัดน้ำเสียปฏิกิริยานี้ สามารถกล่าวได้ว่าค่า  $a$  มีความสัมพันธ์กับค่าประสิทธิภาพการบำบัดในด้านโอกาสในการชนหรือสัมผัสระหว่างอนุภาคน้ำมัน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวม โดยนอกจากค่า  $a$  ที่กล่าวถึงข้างต้น อีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญและส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด ได้แก่ ค่าความเร็วเกรเดียนท์ ( $G$ ) ซึ่งเป็นค่าที่บอถึงความสามารถในการกวนผสมของระบบบำบัด โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า  $G$  จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลอากาศ สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.6 และ 4.7 แสดงผลการคำนวณดังรูปที่ 4.4

$$P = C_1 Q_G \log \left( \frac{(h + C_2)}{C_2} \right) \quad (4.6)$$

$$G = \left( \frac{P}{uV} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.7)$$



รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $G$  กับอัตราการไหลอากาศในระบบการ IAF และระบบการ MIAF

จากรูปที่ 4.44 พบว่าค่า  $G$  มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น ในช่วง 50.25-265.09  $s^{-1}$  ตามอัตราการไหลอากาศที่เพิ่มขึ้น ในช่วง 0.025-0.7 ลิตรต่อนาที จากการเพิ่มสูงขึ้น ของค่า  $G$  แสดงให้เห็นว่าระดับพลังงานในการกวนผสมของระบบจะเพิ่มสูงขึ้น ตามอัตราการไหลอากาศที่สูงขึ้น จากการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $P$  นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ  $a$  ค่าความเร็วเกรเดียนท์ ( $G$ ) อัตราการไหลอากาศ ( $Q_G$ ) และประสิทธิภาพของระบบบำบัด (%การบำบัด) โดยสามารถสรุปความสัมพันธ์ของค่า  $a$  ได้ดังนี้

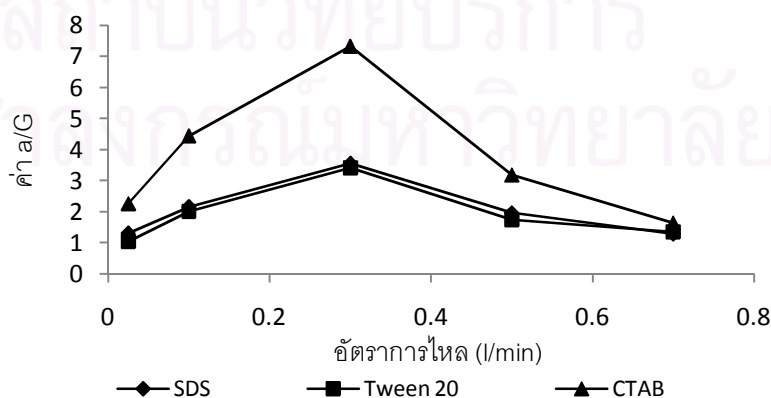
- ค่า  $a$  จะแปรผันตรงกับ  $Q_G$  กล่าวได้ว่าเมื่อ  $Q_G$  เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่า  $a$  เพิ่มสูงขึ้น โดยจะเกิดในช่วงอัตราการไหลอากาศ 0.025-0.3 ลิตรต่อนาที และค่า  $a$  จะแปรผกผันกับ  $Q_G$  เมื่ออัตราการไหลอากาศอยู่ในช่วง 0.3-0.7 ลิตรต่อนาที กล่าวได้ว่าเมื่อ  $Q_G$  เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่า  $a$  ลดลง เนื่องจากที่อัตราการไหลอากาศสูงๆ ส่งผลทำให้เกิดการรวมตัวกันของฟองอากาศทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสของฟองอากาศลดลง

- สารลดแรงตึงผิวชนิด CTAB ให้ค่าแรงตึงผิวต่ำที่สุด ทำให้เกิดขนาดของฟองอากาศเล็กที่สุด (0.3-0.9 มิลลิเมตร) ทำให้ฟองอากาศมีพื้นที่ผิวสัมผัสของฟองอากาศสูงที่สุด ทำให้ได้ค่า  $a$  สูงที่สุด
- ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า  $a$
- ค่า  $a$  สูงที่สุด (0.3 ลิตรต่อนาที) มีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงที่สุดที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที
- ค่า  $G$  จะแปรผันตรงกับ  $Q_g$  กล่าวได้ว่าเมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มสูงขึ้นส่งผลทำให้พลังงานในการปั่นป่วนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งถ้าในระบบมีค่า  $G$  ที่สูงเกินไปจะส่งผลเสียทำให้เกิดการแตกของฟล็อกและชั้นน้ำมันที่แยกด้านบน รวมไปถึงการชนและการเกาะติดระหว่างฟองอากาศกับหยดน้ำมันจะเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพ

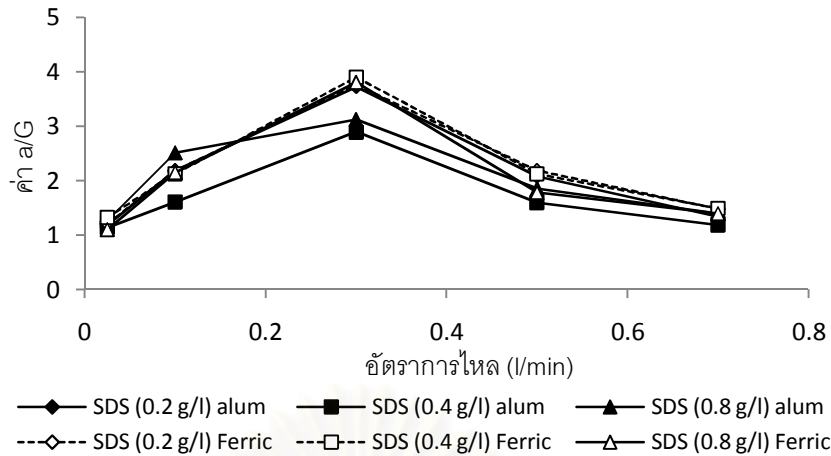
โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $a$  ค่า  $G$  และประสิทธิภาพการบำบัดที่เกิดขึ้นเป็นความสัมพันธ์ที่สำคัญและน่าสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งจะได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในหัวข้อต่อไป

4.6.3 การศึกษาผลกระทบของสัดส่วนค่าพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ ( $a$ ) ต่อค่าความเร็วแกวเดียนท์ ( $G$ ) หรือสัดส่วน ( $a/G$ ) ต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ ( $a$ ) ค่าความเร็วแกวเดียนท์ ( $G$ ) และอัตราการไหลอากาศในหัวข้อที่ 4.5.2 ในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าสัดส่วน  $a/G$  กับอัตราการไหลอากาศของกระบวนการ IAF ดังรูปที่ 4.45 และกระบวนการ MIAF ดังรูปที่ 4.46 และ 4.47 เพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวแปรหลักในการศึกษา และเปรียบเทียบกลไกการทำงานของระบบบำบัดแบบทำให้ลอยตัวทางด้านอุทกพลศาสตร์

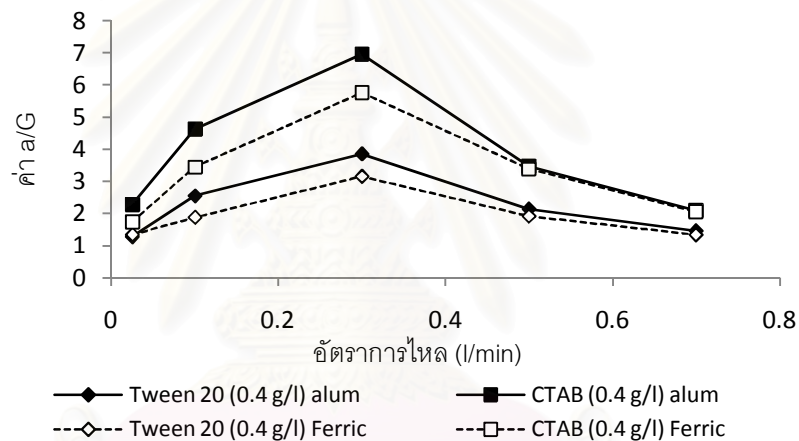


รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $a/G$  กับอัตราการไหลอากาศในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด ด้วยกระบวนการ IAF



รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a/G กับอัตราการไหลอากาศ ที่ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ต่างๆ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วย

#### กระบวนการ MIAF



รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a/G กับอัตราการไหลของอากาศ ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 เข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ 0.4

#### กรัมต่อลิตร ด้วยกระบวนการ MIAF

จากรูปที่ 4.45, 4.46 และ 4.47 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ IAF และ กระบวนการ MIAF มีความใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าสัดส่วน a/G จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอัตราการไหลอากาศ 0.025 และ 0.1 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ โดยมีค่าสูงสุดที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที ซึ่งมีความสอดคล้องกับการให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดของกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF จากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้น 0.5 และ 0.7 ลิตรต่อนาที

ดังนั้นกล่าวโดยสรุปได้ว่าการเลือกใช้กระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF ที่อัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมสามารถส่งผลดีต่อลักษณะทางอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศ

( $D_b$ ,  $f_b$  และ  $U_b$ ) และค่าความเร็วเกรเดียนท์ ( $G$ ) ของระบบ ซึ่งให้ค่าสัดส่วน  $a/G$  ที่สูงๆ นั้นจัดเป็นแนวทางที่สำคัญสำหรับการบำบัดด้วยกระบวนการทำให้ลอยเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงที่สุด ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวสอดคล้องกับในกรณีของกระบวนการ Dissolved Air Flotation (DAF) ซึ่งให้ฟองอากาศที่มีขนาดเล็กจำนวนมาก (0.03-0.1 มิลลิเมตร) และสภาพความปั่นป่วนต่ำมากเพื่อให้ได้ค่า  $a$  สูงที่สุด และค่า  $G$  ต่ำที่สุด (ค่าสัดส่วน  $a/G$  สูงมาก) ทำให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงที่สุด อย่างไรก็ตามกระบวนการ DAF เป็นกระบวนการที่มีความปั่นป่วนต่ำซึ่งจะส่งผลเสียให้ไม่มีการกวนผสมของสารเคมีเกิดขึ้นในระบบ ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ในกระบวนการ MIAF

นอกจากนี้ เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด และค่าสัดส่วน  $a/G$  จึงได้ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด และค่าสัดส่วน  $a/G$  ของกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF โดยในขั้นต้นพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นไปตามสมการเส้นตรง (Linear equation) ทั้งนี้ ค่าความชัน (Slope) จุดตัดแกน (Intersection) ที่ได้จากสมการเส้นตรงดังกล่าวสามารถแสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ตารางสรุปค่าคงที่จากสมการเส้นตรงที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดกับค่าสัดส่วน  $a/G$  ของกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF

ตัวอย่าง	กระบวนการทำให้ลอย	% การบำบัด	ความชัน	จุดตัดแกน y	$R^2$	0 (l/min)
SDS	IAF	69.28	8.1376	39.22	0.9116	35.21
	สารส้ม 0.2 g/l MIAF	44.7	2.0417	37.16	0.9629	29.54
	สารส้ม 0.4 g/l MIAF	79.73	6.0639	61.88	0.9126	55.60
	สารส้ม 0.8 g/l MIAF	89.38	7.2171	68.67	0.8661	69.11
	เฟอริกคลอไรด์ 0.2 g/l MIAF	71.28	1.6510	65.20	0.9364	54.63
	เฟอริกคลอไรด์ 0.4 g/l MIAF	93.67	2.1171	85.17	0.9188	68.15
	เฟอริกคลอไรด์ 0.8 g/l MIAF	98.93	2.4437	89.43	0.9611	74.90
Tween 20	IAF	48.91	2.5979	40.55	0.9124	33.41
	สารส้ม 0.4 g/l MIAF	39.85	2.8939	27.77	0.9136	26.71
	เฟอริกคลอไรด์ 0.4 g/l MIAF	37.25	2.9851	27.82	0.9165	26.15
CTAB	IAF	24.33	1.5021	13.97	0.8922	11.23
	สารส้ม 0.4 g/l MIAF	29.54	0.9062	22.43	0.9047	20.30
	เฟอริกคลอไรด์ 0.4 g/l MIAF	31.32	1.0383	25.90	0.9274	22.09

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความชัน (Slope) จุดตัดแกน y (Intersection) กับประสิทธิภาพของการบำบัดด้วยกระบวนการ IAF และ MIAF ดังนี้

- ค่าความชัน (Slope) แปรผันตรงกับประสิทธิภาพการบำบัด (slope  $\propto$  % การบำบัด) กล่าวได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความชัน (Slope) ในกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF มีความสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการบำบัดในระบบ
- ค่าความชัน (Slope) ในกระบวนการ IAF มีค่ามากกว่าค่าความชันในกระบวนการ MIAF ( $Slope_{IAF} > Slope_{MIAF}$ ) เนื่องจากการเติมสารเคมีในกระบวนการ MIAF จะลดผลกระทบที่เกิดจากตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์ โดยที่จะได้คุณสมบัติด้านการทำลายเสถียรภาพ (Destabilizations) ของสารโคแอกกูแลนต์มาทดแทนทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มมากขึ้น
- การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ในกระบวนการ MIAF มีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อมีการใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม ซึ่งส่งผลดีต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความชัน (Slope) และจุดตัดแกน y (Intersection) ที่เพิ่มสูงขึ้นจากการใช้สารเคมี
- กรณีตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ IAF สูงกว่ากระบวนการ MIAF เป็นผลมาจากจุดตัดแกน y (Intersection) ที่ต่ำลง และผลค่าความชัน (Slope) ของตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์คงที่ (ประมาณ 2.5-2.9) ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลเสียจากการใช้สารเคมีที่ไม่เหมาะสมในการทำลายเสถียรภาพของตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20
- ค่าจุดตัดแกน y ที่ได้จากการเส้นตรงมีค่าใกล้เคียงกลับประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ MIAF ที่ไม่มีการเติมอากาศ (0 ลิตรต่ออนาที)

ดังนั้น จากความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความชัน (Slope) จุดตัดแกน y (Intersection) และประสิทธิภาพของการบำบัดด้วยกระบวนการ IAF และกระบวนการ MIAF ที่เกิดขึ้น ทำให้ใช้ประยุกต์ใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น ได้ดังนี้

- สร้างสมการที่เกิดจากความสัมพันธ์ของค่าความชัน (Slope) จุดตัดแกน a/G และประสิทธิภาพซึ่งอยู่ในรูป

$$\% \text{การบำบัด} = \frac{a}{G} (\text{slope}) + b \quad (4.8)$$

b = จุดแกน y



โดยสามารถนำสมการที่ 4.5 มาทำนายประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ MIAF ได้ ในกรณีที่เกิดระบบด้วยอุปกรณ์สร้างฟองอากาศชนิดอื่นๆ ในกระบวนการทำให้ลอยแบบ IAF รวมไปถึงการประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการทางเคมี (MIAF) เป็นต้น

- สร้างสมการที่รวมความสัมพันธ์ระหว่างสมการที่ 4.4 และ 4.8 แสดงดังสมการที่ 4.6

$$\% \text{การบำบัด}_{MIAF} = \left(\frac{N}{K}\right) \times \left(\frac{a}{G}(\text{slope}) + b\right) \quad (4.6)$$

ซึ่งจะทำให้ได้สมการที่มีประสิทธิภาพในการทำนายประสิทธิภาพในการบำบัดของ กระบวนการ MIAF ที่ได้รวมผลกระทบที่เกิดจากการใช้สารโคแอกกูแลนต์ และผลกระทบ ด้านอุทกพลศาสตร์ไว้ในสมการเดียวกัน เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองที่ได้ทำการศึกษาความเหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด Sodium Dodecyl Sulphate (Anionic surfactant), Polysorbate 20 (Nonionic surfactant) และ Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (Cationic surfactant) ด้วยกระบวนการ IAF จาร์เจสต์ และ MIAF สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 กระบวนการ IAF สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, Tween 20 และ CTAB พบว่าให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, Tween 20 และ CTAB เท่ากับ 69.28, 24.33 และ 48.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที นาน 30 นาที จากการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าในกระบวนการบำบัดไม่มีความจำเป็นในการให้อัตราการไหลอากาศที่สูงและเวลาในการบำบัดนานที่จนเกินไปซึ่งจะส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพและสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการบำบัด

5.1.2 วิธีจาร์เจสต์สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, Tween 20 และ CTAB แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่ ค่า pH ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และผลกระทบของปริมาณของเกลือและโพลีเมอร์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัด

- การศึกษาค่า pH ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, Tween 20 และ CTAB พบว่าค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการใช้สารส้มในการบำบัดอยู่ในช่วง 6-7 และค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับเฟอริกคลอไรด์อยู่ในช่วง 5-6
- การศึกษาความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, Tween 20 และ CTAB
  - ตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS พบว่าในกรณีที่เพิ่มปริมาณของสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ ที่ใช้ในกระบวนการบำบัดจะส่งผลทำให้

ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น

- ตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการบำบัดมากนัก
- การศึกษาผลกระทบของเกลือต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน พบว่าการใช้เกลือไม่ส่งผลดีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด แต่กับส่งผลเสียทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง
- การศึกษาผลกระทบของโพลีเมอร์ต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน พบว่าส่งผลดีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดเฉพาะที่ความเข้มข้นของสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ที่มีค่าต่ำๆ (0.2 กรัมต่อลิตร) ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS เท่านั้น แต่เมื่อใช้กับความเข้มข้นและตัวอย่างน้ำเสียอื่น พบว่าไม่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดมากนัก

5.1.3 กระบวนการ MIAF สำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, Tween 20 และ CTAB แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ อัตราการไหลที่เหมาะสม ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ และจลนศาสตร์ที่มีความเหมาะสมต่อกระบวนการบำบัด

- อัตราการไหลอากาศ พบว่าอัตราการไหลที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, Tween20 และ CTAB เท่ากับ 0.3 ลิตรต่อนาที ที่ระยะเวลาในการบำบัดนาน 30 นาที
- การศึกษาความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน SDS พบว่าในกรณีที่เพิ่มปริมาณของสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ที่ใช้ในกระบวนการบำบัดจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น
- การศึกษาด้านจลนศาสตร์ของกระบวนการบำบัด สามารถแบ่งช่วงการบำบัดออกเป็น 3 ช่วงหลัก ได้แก่
  - ช่วงที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงของค่า COD ลดลงอย่างรวดเร็วใน 0-10 นาที
  - ช่วงที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงของค่า COD ลดลงอย่างช้าๆเกิดขึ้นในช่วง 10-30 นาที
  - ช่วงที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงของค่า COD เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 30 นาทีขึ้นไป

- จากการศึกษาด้านจลนศาสตร์ของกระบวนการบำบัดในกระบวนการ IAF และ MIAF ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของค่า  $n$  และ  $\log k$  มาสร้างสมการทำนายประสิทธิภาพได้ดังนี้

$$\% \text{ การบำบัด}_{MIAF} = \left(\frac{N}{K}\right) \times \% \text{ การบำบัด}_{IAF} \quad (5.1)$$

เพื่อใช้ในการประเมินค่าประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ MIAF ได้

5.1.4 การศึกษาตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศของการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS, Tween 20 และ CTAB ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ขนาดฟองอากาศ ( $D_b$ ) ความเร็วแกรเดียนท์ ( $G$ ) ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ ( $a$ ) และอัตราส่วน  $a/G$

- ขนาดฟองอากาศ ( $D_b$ ) พบว่าอัตราการไหลอากาศที่สูงขึ้น มีผลต่อขนาดฟองอากาศที่เพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของสารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์มีผลกระทบน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของฟองอากาศในกระบวนการทำให้ลอย
- ความเร็วแกรเดียนท์ ( $G$ ) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น
- ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ ( $a$ ) และอัตราส่วน  $a/G$  ที่ได้จากกระบวนการ MIAF ซึ่งจะให้ค่าสูงสุดที่อัตราการไหลของอากาศที่ 3 ลิตรต่อนาที และที่จุดสูงสุดของค่า  $a$  และ  $a/G$  ยังมีความสอดคล้องกับค่าอัตราการไหลอากาศที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด ทำให้สามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\% \text{ การบำบัด} = \frac{a}{G} (\text{slope}) + b \quad (5.2)$$

$b =$  จุดแกน  $y$

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, Tween 20 และ CTAB พบว่าจากการดำเนินงานวิจัยในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการ MIAF ซึ่งทั้ง 2 กระบวนการให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงมากในช่วง 70-99 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 และ CTAB

พบว่า การบำบัดด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการ MIAF ของทั้ง 2 กระบวนการ ยังคงให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ต่ำประมาณ 40-50 % นั้น ในอนาคตจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาในเรื่องของสารช่วยตกตะกอนมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 และ CTAB ให้สูงขึ้น

โดยงานวิจัยในส่วนนี้ เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงความสามารถของสารช่วยตกตะกอน โดยจะใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด SDS เป็นสารช่วยในการตกตะกอนในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน Tween 20 และ CTAB ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน และ MIAF ดังนี้

5.2.1 ศึกษาการใช้สารช่วยตกตะกอนในกระบวนการโคแอกกูเลชัน ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน Tween 20 และ CTAB

เป็นการศึกษาการทำลายเสถียรภาพของตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 และ CTAB โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด SDS เป็นสารช่วยตกตะกอน โดยทำการเติมปริมาณสารช่วยตกตะกอนเป็นจำนวนเท่าที่จุด CMC ของปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิด Tween 20 และ CTAB ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย และซีเฟอริกคลอไรด์ทำหน้าที่เป็นสารโคแอกกูแลนต์

5.2.1.1 ศึกษาการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB โดยใช้ SDS เป็นสารช่วยตกตะกอนในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ตารางที่ 5.1 ตารางผลศึกษาการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน CTAB โดยใช้ SDS เป็นช่วยตกตะกอนในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ปริมาณ SDS	% การบำบัด	
	ปริมาณเฟอริกคลอไรด์ (g/l)	
	0.4	0.8
0.5 CMC	8.37	12.78
1 CMC	89.43	91.19
2 CMC	41.85	41.85
3 CMC	12.78	14.54

จากตารางที่ 5.1 พบว่าเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ที่ปริมาณ 1 CMC เป็นสารช่วยตกตะกอนให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเท่ากับ 91.19 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณเฟอริกคลอไรด์

0.8 กรัมต่อลิตร โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ไม่มีการเติมสารช่วยตกตะกอนพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดเพียง 40.49 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณเฟอริกคลอไรด์ 0.8 กรัมต่อลิตร

5.2.1.2 ศึกษาการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 โดยใช้ SDS เป็นสารช่วยตกตะกอนในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ตารางที่ 5.2 ตารางผลศึกษาการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 โดยใช้ SDS เป็นสารช่วยตกตะกอนในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ปริมาณ SDS	% การกำจัด	
	ปริมาณเฟอริกคลอไรด์ (g/l)	
	0.8	1.2
0.5 CMC	10.23	11.69
1 CMC	18.75	22.29
2 CMC	19.49	25.95
3 CMC	31.71	30.70
4 CMC	35.40	60.58
5 CMC	12.09	49.47

จากตารางที่ 5.1 พบว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ที่ปริมาณ 4 CMC เป็นสารช่วยตกตะกอนให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเท่ากับ 60.58 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณเฟอริกคลอไรด์ 1.2 กรัมต่อลิตร โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ไม่มีการเติมสารช่วยตกตะกอนพบว่าประสิทธิภาพบำบัดเพียง 43.29 ที่ปริมาณเฟอริกคลอไรด์ 1.2 กรัมต่อลิตร

จากการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการบำบัดของตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน CTAB และ Tween 20 (หัวข้อที่ 5.2.1.1 และ 5.2.1.2) เป็นผลเนื่องมาจากการเติมสารช่วยตกตะกอน (SDS) มีส่วนช่วยให้โครงสร้างของหยดน้ำมันในตัวอย่างน้ำเสีย ทั้งสองชนิดมีประจุลบมากขึ้นและสามารถเกิดปฏิกิริยากับเฟอริกคลอไรด์ทำให้เกิดฟล็อกที่มีความสามารถในการแยกได้ดีมากขึ้น

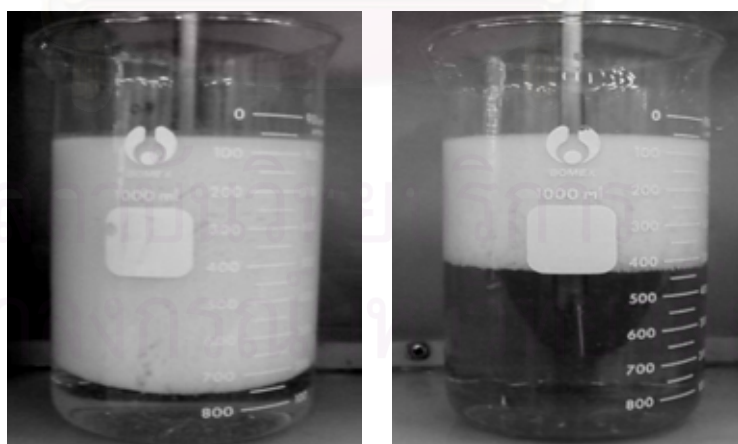
5.2.2 ศึกษาการใช้สารช่วยตกตะกอนในกระบวนการ MIAF ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 และ CTAB

เป็นการศึกษาการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 และ CTAB ด้วยกระบวนการ MIAF ใช้สภาพที่มีความเหมาะสมสูงสุดในการใช้สารช่วยตกตะกอน (SDS) จากหัวข้อที่ 5.2.1.1 และ 5.2.1.2 ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิตรต่อนาที นาน 30 นาที

ตารางที่ 5.3 ผลศึกษาการใช้สารช่วยตกตะกอนในกระบวนการ MIAF ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน Tween 20 และ CTAB

ตัวอย่าง	% การบำบัด
CTAB	5.347338
Tween 20	8.397456

จากตารางที่ 5.3 พบว่าประสิทธิภาพจากการบำบัดกระบวนการ MIAF ใช้สารช่วยตกตะกอนให้ประสิทธิภาพที่ต่ำเป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยหลักคือ ฟลอคที่เกิดขึ้นจากการใช้สารช่วยตกตะกอนจะมีความชอบน้ำสูงทำให้เกิดการเกาะตัวกันอย่างหลวมๆ (ดังรูปที่ 5.1) ทำให้ฟลอคที่เกิดขึ้นเมื่อสัมผัสกับฟองอากาศเพื่อให้เกิดการแยก แต่กลับทำให้เกิดการรวมผสมทำให้ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัด



รูปที่ 5.1 ลักษณะฟลอคจากการใช้สารช่วยตกตะกอนในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน CTAB ที่ความเข้มข้น 0.4 (ก) และ 0.8 (ข) กรัมต่อลิตร

จากผลศึกษาการแนวทางการใช้สารช่วยตกตะกอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 ในหัวข้อ 5.2.1 และ

5.2.2 พบว่าเป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด ดังนั้นในการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB และ Tween 20 ต่อไปในอนาคตควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในปีวิจัยที่มีสำคัญดังนี้

- ชนิด และปริมาณของสารช่วยตกตะกอน
- ชนิด และปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมกับชนิดของสารช่วยตกตะกอน
- ผลของตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัด



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- เกียรติพงษ์ เจริญสุข. การกำจัดน้ำ ามันสำหรับน้ำ าลีโรงกลั่นน้ำ ามันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน  
กับกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชา  
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ วิศวกรรมการบำบัดน้ำ าลี เล่มที่ 2, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์  
มิตนราการพิมพ์, 2539.
- ชวลีกร ชุกกลิ่น. การขจัดน้ำ ามันเสถียรในอิมัลชันของน้ำ าลีโดยวิธีอินดิวิจแอริโพลเทซ วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
2547.
- มันสิน ตันกุลเวศน์ วิศวกรรมปะปา. เล่มที่ 1, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย, 2537
- ดร.มันสิน ตันกุลเวศน์. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ าลีพิมพ์ครั้งที่4. กรุงเทพฯ: บริษัท แชน อี. 68  
แลบ จำกัด, 2546.
- สาวิตรี จันทวานุรักษ์. กระบวนการแยกเชิงกลในอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.

### ภาษาอังกฤษ

- Ahmad, A.L., Sumathi, S. and Hameed, B.H. Coagulation of residue oil and suspended  
solid in palm oil mill effluent by chitosan, alum and PAC. Chemical Engineering  
Journal 118 (2006): 99–105
- Al-Shamrani, A.A., James, A. and Xiao, X. Separation of oil from water by dissolved air  
flotation. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects  
209 (2002): 15-26.
- Aurelle, Y. Treatment of oil-containing wastewater. 1<sup>st</sup> ed. Bangkok: Chulalongkorn, 1985.
- Benefield, L.D. et al. Process Chemistry for water and wastewater treatment. 1<sup>st</sup> ed. New  
Jersey: Prentice-Hall Inc, 1982
- Da Rosa, J.J. and Rubio, J. The FF (flocculation flotation) process. Minerals Engineering  
18 (2005):701-707.

- Deng, S.D., Yu, G., Jiang, Z.P., Zhang, Z.H. and Ting, Y.P. Destabilization of oil droplets in produced water from ASP flooding. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 252 (2005): 113-119.
- Drew, M. Surfactant science and technology. 1<sup>st</sup> ed. New York: VCH publishing, Inc, 1992.
- Féris, L.S., De Leo, A.T., Santander, M. and Rubio, J. Advances in the adsorptive particulate flotation process. Int. J. Miner. Process 74 (2004) 101-106.
- Grace, J.R., and Wairegi, T. Properties and Characteristics of Drops and Bubbles. Encyclopedia of Fluid Mechanics. Huston: Cheremisinoff. Gulf Publishing Corporation, 1986
- Grattoni, C., Moosai, R. and Dawe, R.A. Photographic observations showing spreading and nonspreading of oil on gas bubbles of relevance to gas flotation for oily wastewater cleanup. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 214 (2003): 151-155.
- Hamza, H.A., Stanonik, D.J. and Kessick, M.A. Flocculation of lime-treated oil sands tailings. Fuel 75 (1996): 280-284.
- Jameson, G.J. Hydrophobicity and floc density in induced-air flotation for water treatment. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 151 (1999): 269-281
- McNaught, D.A. and Wilkinson, A. Compendium of Chemical Terminology. 2<sup>nd</sup> ed. London. Wiley- Blackwell Science, 1997
- Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater engineering treatment and reuse. 4<sup>th</sup> ed. Singapore: McGraw-Hill, 2004.
- Meysami, B. and Kasaeian, A.B. Use of coagulants in treatment of olive oil wastewater model solutions by induced air flotation. Bioresource Technology 96 (2005): 303-307.
- Moosai, R. and Dawe, R.A. Gas attachment of oil droplets for gas flotation for oily wastewater cleanup. Separation and Purification Technology 33 (2003): 303-314.

- Oliveira Lima, L.M., Silva, J.H., Ribeiro Patricio, A.A., Barros Neto, E.L., Dantas Neto, A.A., Castro Dantas, T.N. and Moura, M.C.P. A. Oily Wastewater Treatment through a Separation Process Using Bubbles without Froth Formation. Petroleum Science and Technology, 26 (2008): 994–1004.
- Pinotti, A., Bevilacqua, A. and Zaritzky, N. Optimization of the Flocculation Stage in a Model System of a Food Emulsion Waste using Chitosan as Polyelectrolyte. Journal of Food Engineering 32 (1997): 69-81.
- Painmanakul, P., Loubière, K., Hébrard, G., Peuchot, M.M. and Michel Roustan, M. Effect of surfactants on liquid-side mass transfer coefficients. Chemical Engineering Science 60 (2005): 6480 – 6491
- Reynolds, T.D. and Richards, P.A. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering. 2<sup>nd</sup> ed. Boston: PWS publishing company, 1996
- Rubio, J., Souza, M.L. and Smith, R.W. Overview of flotation as a wastewater treatment technique. Mineral Engineering 15 (2002): 139-155
- Sank, R.L. Water treatment Plant Design for the Practicing Engineer. 3<sup>rd</sup> ed. Printing, Ann Arbor Science, 1980
- Sardeing, R., Painmanakul, P. and H.brard, G. Effect of surfactants on liquid-side mass transfer coefficients in gas liquid systems: A first step to modeling. Chemical Engineering Science 61 (2006): 6249-6269
- Weber, W.J. Jr. Physicochemical processes for Water Quality Control. 1<sup>st</sup> ed. Wiley-Interscience, 1972
- Zouboulis, A.I. and Avranas A. Treatment of oil-in-water emulsions by coagulation and dissolved-air flotation. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 172 (2000): 153–161



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก-1 ผลการศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิว SDS Tween 20 และ CTAB ที่ให้ค่าความขุ่นที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

ตารางที่ ก-1.1 ตารางผลการศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิว SDS Tween 20 และ CTAB ที่ให้ค่าความขุ่นที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

ตัวอย่าง	SDS	Tween 20	CTEB
ความเข้มข้น (โมล/ล.)	ความขุ่น (NTU)		
0.002	19.17	18.33	100.00
0.004	32.50	24.17	140.00
0.006	38.33	26.67	225.00
0.008	71.17	25.83	223.33
0.01	70.83	28.33	240.00
0.02	66.67	30.83	241.67
0.04	73.33	28.33	225.00
0.06	71.67	26.67	223.33
0.08	70.83	30.83	258.33

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-2 ผลการศึกษา pH เริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อน  
น้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด

ตารางที่ ก-2.1 ตารางผลการทดลองการศึกษา pH เริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสีย  
ปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม

ปริมาณ (ก./ล.)	สารส้ม					
	0.4		0.8		1.2	
pH	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
2	6926.76	32.03	2341.44	77.02	1203.24	88.19
3	6438.96	36.81	1632.00	83.99	1056.00	89.64
4	4682.88	54.04	1568.28	84.61	682.92	93.30
5	4320.00	57.61	1470.72	85.57	672.00	93.41
6	3488.00	65.77	1328.00	86.97	672.00	93.41
7	4384.00	56.98	1253.34	87.70	585.36	94.26
8	4768.00	53.21	1440.00	85.87	992.00	90.27
9	5639.76	44.66	1785.92	82.47	814.63	92.01
10	6454.39	36.66	2318.57	77.25	845.96	91.70
11	6955.704	31.74	5263.78	48.35	1315.94	87.09
12	7519.68	26.21	5827.75	42.81	6517.06	36.05

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก (ต่อ)

ตารางที่ ก-2.2 ตารางผลการศึกษา pH เริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยสารส้ม

ปริมาณ (ก./ล.)	สารส้ม					
	0.4		0.8		1.2	
pH	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
2	13812.36	22.03	13616.44	23.13	12832.76	27.56
3	13616.44	23.13	13224.60	25.34	12930.72	27.00
4	11167.44	36.96	12147.04	31.43	11559.28	34.75
5	10634.04	39.97	12049.08	31.98	9658.44	45.48
6	10579.68	40.28	10579.68	40.28	9404.16	46.91
7	10089.88	43.04	10481.72	40.83	8780.40	50.43
8	9991.92	43.59	9110.28	48.57	7955.16	55.09
9	9796.00	44.69	9268.20	47.68	8585.28	51.53
10	9560.88	46.03	8390.16	52.64	9012.32	49.12
11	8780.40	50.43	9658.44	45.48	9208.24	48.02
12	8390.16	52.64	9170.64	48.23	9365.76	47.13

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ตารางที่ ก-2.3 ตารางผลการศึกษา pH เริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ด้วยสารส้ม

ปริมาณ (ก./ล.)	สารส้ม					
	0.4		0.8		1.2	
pH	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
2	9225.93	16.01	7542.82	31.33	9225.93	16.01
3	6736.87	38.67	7293.47	33.60	7338.38	33.19
4	5413.56	50.71	6607.76	39.84	6706.80	38.94
5	5298.68	51.76	5894.76	46.33	6327.24	42.40
6	4943.02	54.99	4812.05	56.19	4992.50	54.55
7	4134.73	62.36	4290.17	60.94	4675.30	57.44
8	4818.67	56.13	4541.37	58.66	3823.85	65.19
9	5082.73	53.73	4632.14	57.83	4010.38	63.49
10	5263.18	52.08	5129.55	53.30	5129.55	53.30
11	6870.49	37.45	6155.46	43.96	6062.20	44.81
12	7367.90	32.92	6920.23	37.00	6808.32	38.02

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ตารางที่ ก-2.4 ตารางผลการศึกษา pH เริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยเฟอริกคลอไรด์

ปริมาณ (ก./ล.)	เฟอริกคลอไรด์					
	0.4		0.8		1.2	
pH	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
2	1916.33	81.19	456.27	95.52	1277.56	87.46
3	1916.33	81.19	273.76	97.31	608.36	94.03
4	2098.84	79.40	1003.79	90.15	547.52	94.63
5	1460.06	85.67	110.85	98.91	365.02	96.42
6	1764.24	82.69	456.27	95.52	303.80	97.02
7	3376.40	66.87	912.54	91.05	303.80	97.02
8	4562.70	55.23	973.38	90.45	405.06	96.03
9	4927.716	51.64	1095.05	89.25	486.69	95.22
10	4927.716	51.64	1095.05	89.25	730.03	92.84
11	6987.35	31.43	1316.46	87.08	912.54	91.05
12	7662.46	24.81	6481.02	36.40	1113.93	89.07

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ตารางที่ ก-2.5 ตารางผลการศึกษา pH เริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยเฟอริกคลอไรด์

ปริมาณ (ก./ล.)	เฟอริกคลอไรด์					
	0.4		0.8		1.2	
pH	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
2	14531.25	17.97	13593.75	23.26	14812.50	16.38
3	13125.00	25.91	12375.00	30.14	14531.25	17.97
4	13187.50	25.55	12718.75	28.21	14343.75	19.03
5	12093.75	31.73	13375.00	24.50	13500.00	23.79
6	11162.88	36.98	13406.25	24.32	12000.00	32.26
7	11718.75	33.85	12750.00	28.02	11437.50	35.43
8	12000.00	32.26	12527.23	29.28	10976.83	38.03
9	11125.00	37.20	10881.95	38.57	10790.78	39.08
10	10046.59	43.29	10976.83	38.03	10697.76	39.61
11	10976.83	38.03	10579.68	40.28	10113.96	42.91
12	9736.51	45.04	10481.72	40.83	10046.59	43.29

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ตารางที่ ก-2.6 ตารางผลการศึกษา pH เริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ด้วยเฟอริกคลอไรด์

ปริมาณ (ก./ล.)	เฟอริกคลอไรด์					
	0.4		0.8		1.2	
pH	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
2	10417.68	5.17	10506.68	4.35	10560.51	3.86
3	9692.39	11.76	10417.68	5.16	10417.68	5.16
4	9365.76	14.73	9560.88	12.96	9277.28	15.54
5	6243.84	43.16	6536.52	40.49	6178.79	43.75
6	6731.64	38.71	6959.27	36.64	6731.64	38.71
7	7516.55	31.57	7417.65	32.47	8090.18	26.35
8	8585.28	21.84	8011.06	27.07	8208.87	25.27
9	8168.04	25.64	8585.28	21.84	8390.16	23.62
10	8840.308	19.52	8901.18	18.96	8585.28	21.84
11	9164.92	16.56	9781.48	10.95	8470.56	22.88
12	9277.28	15.54	9983.16	9.11	8703.38	20.76

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-3 ผลการศึกษาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ ที่เหมาะสมสำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับการลดแรงตึงผิว SDS

ตารางที่ ก-3.1 ตารางผลการศึกษาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่ที่เหมาะสมสำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับการลดแรงตึงผิว SDS ด้วยสารส้ม

ปริมาณ (ก./ล.)	สารส้ม		เฟอริกคลอไรด์	
	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
0.1	8372.16	17.84	6387.65	37.32
0.2	6511.68	36.10	4589.18	54.97
0.3	5488.42	46.14	2294.59	77.48
0.4	4384.00	56.98	1460.06	85.67
0.5	3469.90	65.95	967.74	90.50
0.6	2827.32	72.26	645.16	93.67
0.7	2377.52	76.67	580.65	94.30
0.8	1253.34	87.70	118.50	98.84
0.9	1156.63	88.65	283.76	97.22
1	1092.38	89.28	305.75	96.99
1.1	771.09	92.43	323.80	96.82
1.2	585.36	94.26	382.01	96.25
1.3	642.57	93.69	405.06	96.01
1.4	835.35	91.80	838.71	91.77
1.5	835.35	91.80	1035.05	89.84
1.6	963.86	90.54	1225.81	87.97

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-4 ผลการศึกษาผลกระทบของเกลือที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนทีในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว

ตารางที่ ก-4.1 ตารางผลการศึกษาผลกระทบของเกลือที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม สำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS

ปริมาณ (ก./ล.)	สารส้ม					
	0.2		0.4		0.8	
เกลือ (ก./ล.)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
0.001	10131.08	0.58	4721.28	53.67	1377.04	86.49
0.01	9836.00	3.47	4229.48	58.50	1278.68	87.45
0.1	9540.92	6.37	3639.32	64.29	885.24	91.31
1	9147.48	10.23	3442.60	66.22	688.52	93.24

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ตารางที่ ก-4.2 ตารางผลการศึกษาลักษณะของเกลือที่มีผลต่อปริมาณเพอร์ริคคลอไรด์สำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS

ปริมาณ (ก./ล.)	เพอร์ริคคลอไรด์					
	0.2		0.4		0.8	
เกลือ (ก./ล.)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
0.001	8098.81	20.53	2250.00	77.92	1031.25	89.88
0.01	7703.75	24.40	1875.00	81.60	875.00	91.41
0.1	5135.83	49.60	1687.50	83.44	687.50	93.25
1	3851.87	62.20	1406.25	86.20	468.75	95.40
ปริมาณ (ก./ล.)	เพอร์ริคคลอไรด์					
	0.2		0.4		0.8	
เกลือ (ก./ล.)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
0.001	8098.81	20.53	2250.00	77.92	1031.25	89.88
0.01	7703.75	24.40	1875.00	81.60	875.00	91.41
0.1	5135.83	49.60	1687.50	83.44	687.50	93.25
1	3851.87	62.20	1406.25	86.20	468.75	95.40

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ตารางที่ ก-4.3 ตารางผลการศึกษาลักษณะของเกลือที่มีผลต่อปริมาณสารสี และเฟอริกคลอไรด์สำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20

ปริมาณ (ก./ล.)	สารสี		เฟอริกคลอไรด์	
	0.4		0.4	
เกลือ (ก./ล.)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
0.001	12529.8	29.26717	11016.32	37.81104
0.01	12810.32	27.6836	11704.84	33.92423
0.1	13464.86	23.9886	12983.52	26.70587
1	14119.41	20.29361	13376.96	24.48484

ตารางที่ ก-4.4 ตารางผลการศึกษาลักษณะของเกลือที่มีผลต่อปริมาณสารสี และเฟอริกคลอไรด์สำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB

ปริมาณ (ก./ล.)	สารสี		เฟอริกคลอไรด์	
	0.4		0.4	
เกลือ (ก./ล.)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
0.001	9870.95	10.13	9537.61	13.17
0.01	9677.40	11.90	9163.59	16.57
0.1	9193.53	16.30	8166.19	25.65
1	8258.05	24.82	7667.49	30.19

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-5 ผลการศึกษาผลกระทบของโพลีเมอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนต์ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว

ตารางที่ ก-5.1 ตารางผลการศึกษาผลกระทบของโพลีเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารส้ม สำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS

ปริมาณ (ก./ล.)	สารส้ม					
	0.2		0.4		0.8	
โพลีเมอร์ (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
2.5	7450.46	26.89	4122.18	59.55	1282.456	87.42
12.5	5862.66	42.47	3358.81	67.04	824.44	91.91
25	5557.31	45.47	3206.14	68.54	641.23	93.71
37.5	4335.92	57.45	3022.93	70.34	1160.32	88.61
50	7053.51	30.78	3786.30	62.84	1190.85	88.31

ตารางที่ ก-5.2 ตารางผลการศึกษาผลกระทบของโพลีเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณเฟอริกคลอไรด์สำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS

ปริมาณ (ก./ล.)	เฟอริกคลอไรด์					
	0.2		0.4		0.8	
โพลีเมอร์ (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
2.5	4992.00	51.01	768.00	95.66	540.98	94.69
12.5	3264.00	67.97	576.00	94.35	508.19	95.01
25	3648.00	64.20	1600.00	84.30	409.83	95.98
37.5	3552.00	65.14	1536.00	84.93	278.69	97.27
50	4032.00	60.43	2176.00	78.65	737.70	92.76



### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ตารางที่ ก-5.3 ตารางผลการศึกษาลักษณะของโพลีเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารสี และเฟอริกคลอไรด์สำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20

ปริมาณ (ก./ล.)	สารสี		เฟอริกคลอไรด์	
	0.4		0.4	
โพลีเมอร์ (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
2.5	9712.72	45.17	9917.40	44.01
12.5	9462.06	46.59	9454.59	46.63
25	8898.10	49.77	9520.70	46.25
37.5	9462.06	46.59	8343.84	52.90
50	9650.05	45.52	10247.98	42.15

ตารางที่ ก-5.4 ตารางผลการศึกษาลักษณะของโพลีเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารสี และเฟอริกคลอไรด์สำหรับบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB

ปริมาณ (ก./ล.)	สารสี		เฟอริกคลอไรด์	
	0.4		0.4	
โพลีเมอร์ (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
2.5	9148.75	16.71	6644.66	39.51
12.5	9274.08	15.57	6446.31	41.31
25	8804.11	19.85	8066.15	26.57
37.5	8146.15	25.84	7933.92	27.77
50	8835.44	19.56	7537.22	31.38

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-6 ผลการศึกษาบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ด้วยกระบวนการทำให้ลอยแบบ Induced Air Flotation (IAF) ตารางที่ ก-6.1 ตารางผลการศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการทำให้ลอยแบบ IAF

อัตราไหล (ล./นาที่)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
เวลา (นาที่)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	6260.87	38.56	5068.32	50.26	5863.35	42.46	5366.46	47.34	5465.84	46.36
20	5018.63	50.75	5018.63	50.75	5167.70	49.29	4472.05	56.16	5664.60	44.41
30	4521.74	55.63	4074.53	60.02	3130.44	69.28	5366.46	47.34	5316.77	47.83
40	6409.94	37.10	4869.57	52.21	4273.29	58.07	6608.70	35.15	6708.08	34.17
50	6409.94	37.10	4571.43	55.14	4074.53	60.02	6708.08	34.17	7155.28	29.78
60	6559.01	35.61	5416.15	46.85	4819.88	52.70	7254.66	28.81	7254.66	28.81
70	6588.82	35.34	5614.91	44.90	5416.15	46.85	7776.40	23.69	7200.00	29.35
80	6608.70	35.15	5694.41	44.12	5217.39	48.80	7685.96	24.58	7909.57	22.38

ภาคผนวก ก (ต่อ)

ตารางที่ ก-6.2 ตารางผลการศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วยน้ำ ำเสียปนเปื้อนน้ำ ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยกระบวนการทำให้ลอยแบบ IAF

อัตราไหล (ล./นาที)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
เวลา (นาที)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	10294.66	41.88	10024.14	43.41	10604.74	40.13	10325.66	41.71	11348.93	27.53
20	10046.59	43.29	10313.30	41.78	10604.74	40.13	9674.50	45.39	12465.22	29.63
30	9395.42	46.96	9349.44	47.22	9178.37	48.19	9674.50	45.39	12837.31	36.98
40	9674.50	45.39	10602.46	40.15	9302.40	47.49	10232.64	42.24	11162.88	35.93
50	9674.50	45.39	10506.07	40.70	9364.42	47.17	10511.71	40.66	11534.98	34.88
60	10139.62	42.76	10120.53	42.87	9364.42	47.14	10728.77	39.43	11472.96	35.23
70	10046.59	43.29	10506.07	40.69	9488.45	46.44	11162.88	36.98	12186.14	31.21
80	9674.50	45.39	10698.85	39.60	9395.42	46.96	11721.02	33.83	12093.12	31.73

ภาคผนวก ก (ต่อ)

ตารางที่ ก-6.3 ตารางผลการศึกษาค่าการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวCTAB ด้วยกระบวนการทำให้ลอยแบบ IAF

อัตราไหล (ล./นาท)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	10393.68	3.22	9826.75	8.50	9448.80	12.02	9826.75	8.50	10204.70	4.98
20	9259.82	13.78	8692.90	19.05	8503.92	20.81	8881.87	17.29	9259.82	13.78
30	8503.92	20.81	8377.94	21.97	8125.97	24.33	8881.87	17.29	9259.82	13.78
40	8566.91	20.23	8377.94	21.99	8503.92	20.81	8503.92	20.81	8881.87	17.29
50	8598.41	19.93	8629.90	19.64	8566.91	20.23	9354.31	12.90	9732.26	9.38
60	8692.90	19.05	8787.38	18.17	8692.90	19.05	9448.80	12.02	9826.75	8.50
70	8976.36	16.41	8881.87	17.29	9259.82	13.78	9543.29	11.14	9921.24	7.62
80	9322.82	13.19	9196.83	14.36	9070.85	15.53	9448.80	12.02	9826.75	8.50

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ตารางที่ ก-6.4 ตารางผลการศึกษาด้านศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด 3 ชนิด ได้แก่ SDS CTEB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการ IAF ที่อัตราการไหลอากาศ 0.3 ลิ./นาที่ นาน 30 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (มก./ล.)												
	0	2	4	6	8	10	20	30	40	50	60	70	80
เวลา (นาที่)													
SDS	10190.4	7876.03	7069.8	6511.6	6015.5	5863.3	5167.70	3130.4	4273.2	4074.5	4819.8	5416.1	5217.3
Tween 20	17714.2	12651.2	11783.0	11659.0	10728.7	10604.7	10604.7	9178.3	9302.4	9364.4	9364.4	9488.4	9395.4
CTAB	10984.1	10666.7	10418.6	9984.5	9674.5	9448.80	8503.92	8125.9	9259.8	8692.9	8566.9	8503.9	9070.8

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-7 ผลการศึกษาบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ชนิด ได้แก่ SDS CTAB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการ Modify Induced Air Flotation (MIAF)

ภาคผนวก ก-7.1 ตารางผลการศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF ร่วมกับ 0.2 ก./ล. สารส้ม

อัตราไหล (ล./นาที่)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
เวลา (นาที่)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	7542.92	25.98	6704.45	34.21	6607.29	35.16	6935.47	31.94	7141.70	29.92
20	6955.16	31.75	6283.40	38.34	6412.97	37.05	6483.86	36.37	6955.16	31.75
30	6367.40	37.51	6024.29	40.88	5635.63	44.70	5903.21	42.07	5903.21	42.07
40	6857.20	32.71	6218.62	38.98	6153.85	39.61	5999.99	41.12	6161.29	39.54
50	7085.77	30.47	6801.62	33.26	6477.73	36.43	6387.08	37.32	6870.95	32.57
60	7347.00	27.90	7093.12	30.39	6315.79	38.02	6806.44	33.21	7322.57	28.14
70	7542.92	25.98	7967.61	21.81	6607.29	35.16	7838.70	23.08	7354.82	27.83
80	7347.00	27.90	7676.11	24.67	6995.95	31.35	8225.79	19.28	7548.37	25.93

ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-7.2 ตารางผลการศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF ร่วมกับ 0.4 ก./ล. สารส้ม

อัตราไหล (ล./นาท)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
เวลา (นาท)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	2991.84	70.64	2731.68	73.19	3049.16	70.09	4310.24	57.70	3526.56	65.39
20	2796.72	72.56	2536.56	75.11	2327.85	77.16	3526.56	65.39	3036.76	70.20
30	2666.64	73.83	2536.56	75.11	2065.56	79.73	3330.64	67.32	3624.52	64.43
40	2868.26	71.85	2829.24	72.24	3639.32	64.29	3657.17	64.11	3624.52	64.43
50	3186.96	68.73	2861.76	71.92	3377.03	66.86	3787.79	62.83	3722.48	63.47
60	3317.04	67.45	3219.48	68.41	3377.03	66.86	4179.63	58.98	3330.64	67.32
70	3512.16	65.53	3512.16	65.53	3639.32	64.29	4114.32	59.63	3722.48	63.47
80	3382.08	66.81	3317.04	67.45	3934.40	61.39	5289.84	48.09	3983.71	60.91

ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-7.3 ตารางผลการศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF ร่วมกับ 0.8 ก./ล. สารส้ม

อัตราไหล (ล./นาท)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
เวลา (นาท)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	2163.92	78.77	1606.55	84.23	1672.12	83.59	3566.28	65.00	4048.21	60.27
20	1868.84	81.67	1475.40	85.52	1475.40	85.52	3180.74	68.79	3662.67	64.06
30	1081.96	89.38	885.24	91.31	1081.96	89.38	3084.35	69.73	3469.50	65.95
40	1999.99	80.37	1081.96	89.38	2065.56	79.73	3277.12	67.84	3534.15	65.32
50	2360.64	76.83	1475.40	83.59	2360.64	76.83	3277.12	67.84	3759.05	63.11
60	2262.28	77.80	1672.12	85.52	2360.64	76.83	3469.89	65.95	3855.44	62.17
70	2459.00	75.87	1770.48	82.63	2262.28	77.80	3598.41	64.69	3855.44	62.17
80	2536.56	75.11	1737.69	82.95	2754.08	72.97	4626.53	54.59	3714.07	63.55



ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-7.4 ตารางผลการศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำม่านร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF ร่วมกับ 0.2 ก./ล. เฟอริกคลอไรด์

อัตราไหล (ล./นาท)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
เวลา (นาท)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	4444.47	56.39	4098.79	59.78	4243.86	58.35	4146.30	59.31	4345.70	57.36
20	3604.96	64.62	3703.72	63.66	3756.06	63.14	4048.74	60.27	4098.79	59.78
30	3390.97	66.72	3325.12	67.37	2926.80	71.28	3008.10	70.48	3259.28	68.02
40	3588.50	64.79	3358.04	67.05	2943.06	71.12	3560.94	65.06	3259.28	68.02
50	3720.19	63.49	3358.04	67.05	3040.62	70.16	3625.98	64.42	3407.43	66.56
60	3753.11	63.17	3588.50	65.75	3024.36	70.32	3560.94	65.06	3555.58	65.11
70	3901.26	61.72	3489.73	64.76	3365.82	66.97	3512.16	65.53	3588.50	64.79
80	4049.41	60.26	3950.64	61.23	3560.94	65.07	3756.06	63.14	3851.87	62.20

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-7.5 ตารางผลการศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF ร่วมกับ 0.4 ก./ล. เฟอริกคลอไรด์

อัตราไหล (ล./นาทึ่)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	1824	82.10	1934.94	81.01	1438.023	85.89	1658.52	83.72	1658.52	83.72
20	1536	84.93	1658.52	83.72	892.566	91.24	1560.96	84.68	1252.02	87.71
30	1184	88.38	1024.38	89.93	644.631	93.67	1170.72	88.51	1170.72	88.51
40	1408	86.18	1219.50	88.03	793.392	92.21	1268.28	87.55	1219.50	88.03
50	1632	83.99	1219.50	88.03	793.392	92.21	1268.28	87.55	1219.50	88.03
60	1536	84.93	1268.28	87.55	991.74	90.27	1317.06	87.06	1284.54	87.39
70	1536	84.93	1479.66	85.16	991.74	90.27	1414.62	86.12	1365.84	86.60
80	1792	82.41	1512.18	85.48	991.74	90.27	1463.40	85.64	1560.96	84.68

ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-7.6 ตารางผลการศึกษ้อัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF ร่วมกับ 0.8 ก./ล. เฟอริกคลอไรด์

อัตราไหล (ล./นาที)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	1024.80	89.94	879.68	91.37	448.14	95.60	414.94	95.93	975.60	90.43
20	991.74	90.27	597.52	94.14	199.17	98.05	497.93	95.11	422.76	95.85
30	694.22	93.19	597.52	95.11	149.38	98.53	348.55	96.58	390.24	96.17
40	892.57	91.24	497.93	94.63	199.17	98.05	547.72	94.63	780.48	92.34
50	1024.80	89.94	597.52	94.14	149.38	98.53	746.90	92.67	793.39	92.21
60	1090.91	89.29	846.48	94.14	248.97	97.57	846.48	91.69	846.48	91.69
70	1289.26	87.35	746.89	92.67	348.57	96.58	879.68	91.37	892.57	91.24
80	1487.61	85.40	547.72	91.69	348.56	96.58	1543.58	84.85	1024.38	89.95

ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-7.7 ผลการศึกษาอัตราการใช้สารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยกระบวนการ MIAF ร่วมกับ 0.4 ก./ล. สารส้ม

อัตราไหล (ล./นาท)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
เวลา (นาท)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	12337.41	30.35	12433.79	29.81	11952.00	32.53	12288.00	30.63	12576.00	29.01
20	12337.41	30.35	11951.86	32.53	11008.00	37.86	12384.00	30.09	12480.00	29.55
30	12144.64	31.44	11630.58	34.34	10656.00	39.85	12032.00	32.08	11712.00	33.88
40	12337.41	30.35	11855.48	33.07	11072.00	37.50	12288.00	30.63	12352.00	30.27
50	12337.41	30.35	11951.86	32.53	11520.00	34.97	12384.00	30.10	12288.00	30.63
60	12722.95	28.18	12337.41	30.35	11904.00	32.80	12576.00	29.01	12480.00	29.55
70	12626.57	28.72	12337.41	30.35	11968.00	32.44	12480.00	29.55	12416.00	29.91
80	12915.72	27.09	12337.41	30.35	12032.00	32.08	12480.00	29.55	12544.00	29.19

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-7.8 ผลการศึกษาอัตราการใช้สารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยกระบวนการ MIAF ร่วมกับ 0.4 ก./ล. เฟอริกคลอไรด์

อัตราไหล (ล./นาท)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
เวลา (นาท)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	14457.90	18.38	13044.24	26.36	12722.95	28.18	13172.75	25.64	14072.36	20.56
20	13943.84	21.28	12722.95	28.18	11502.06	35.07	12851.47	27.45	13686.81	22.74
30	13464.86	23.99	12015.52	32.17	11116.52	37.25	12529.80	29.27	13277.85	25.04
40	14259.67	19.50	12529.80	29.27	11309.29	36.17	12810.32	27.68	14119.41	20.29
50	14649.27	17.30	13402.53	24.34	11759.09	33.62	13464.86	23.99	14337.59	19.06
60	14586.94	17.65	13838.89	21.88	11951.86	32.53	14119.41	20.29	14119.41	20.29
70	14457.90	18.38	13943.84	21.28	12016.12	32.17	13943.84	21.28	14265.13	19.47
80	14650.67	17.29	14072.36	20.56	12433.79	29.81	14072.36	20.56	14457.90	18.38

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-7.9 ตารางผลการศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว TAB ด้วยกระบวนการ MIAF ร่วมกับ 0.4 ก./ล. สารส้ม

อัตราไหล (ล./นาที่)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
เวลา (นาที่)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	9120.00	16.97	8851.90	19.41	8585.28	21.84	8727.23	20.55	8835.44	19.562
20	8896.00	19.01	8477.88	22.82	8130.00	25.98	8664.89	21.11	8522.12	22.41
30	8448.00	23.09	8290.87	24.52	7739.76	29.54	8041.52	26.79	8146.15	25.84
40	8640.00	21.34	8602.55	21.68	8130.00	25.98	8166.19	25.65	8387.08	23.64
50	8960.00	18.43	8664.89	21.11	8455.20	23.02	8664.89	21.11	8710.11	20.70
60	8976.00	18.28	8664.89	21.11	8585.28	21.84	8914.24	18.84	8645.14	21.29
70	9024.00	17.85	8976.58	18.28	8585.28	21.84	8976.58	18.28	8967.72	18.34
80	9216.00	16.10	9163.59	16.57	8845.44	19.47	9038.91	17.71	9193.53	16.30

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาคผนวก ก (ต่อ)

ภาคผนวก ก-7.10 ผลการศึกษาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วยน้ำ ฉีดยาปนเปื้อนนี้ น้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว TAB ด้วยกระบวนการ MIAF ร่วมกับ 0.4 ก./ล. เพอร์ริกคลอไรด์

อัตราไหล (ล./นาที)	0.025		0.1		0.3		0.5		0.7	
เวลา (นาที)	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %	COD (มก./ล.)	การบำบัด %
10	9060.28	17.51	8602.55	21.68	7902.36	28.06	8097.48	26.28	8789.56	19.98
20	8481.97	22.78	8166.19	25.65	7739.76	29.54	7869.84	28.35	8664.89	21.11
30	8000.038	27.17	7667.49	30.19	7544.64	31.31	7674.72	30.13	8041.52	26.79
40	8417.71	23.36	8072.69	26.51	7674.72	30.13	7739.76	29.54	8166.19	25.65
50	8674.74	21.02	8290.87	24.52	7804.80	28.94	8455.20	23.02	8664.89	21.11
60	8674.74	21.02	8664.89	21.11	8097.48	26.28	8780.40	20.06	9038.91	17.71
70	8546.23	22.19	8976.58	18.28	8585.28	21.84	8975.52	18.29	9288.26	15.44
80	8771.13	20.15	9163.59	16.57	8260.08	24.80	8910.48	18.88	9537.61	13.17

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก (ต่อ)

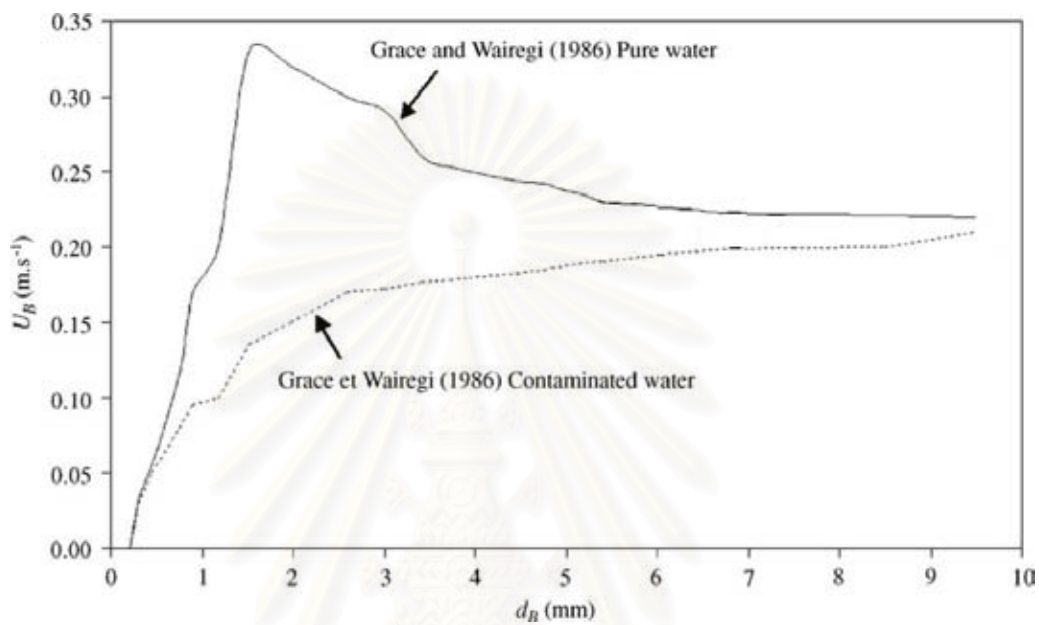
ตารางที่ ก-7.11 ตารางผลการศึกษาลักษณะศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดตัวอย่างน้ำ ำเสียปนเปื้อนน้ำ ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงชนิด 3 ชนิด ได้แก่ SDS CTEB และ Tween 20 ด้วยกระบวนการ MIAF ที่อัตราการไหล 0.3 ล./นาที นาน 30 นาที

โคแอกกูแลนต์	สารส้ม					เฟอริกคลอไรด์				
	SDS			Tween 20	CTAB	SDS			Tween 20	CTAB
ตัวอย่าง	SDS			Tween 20	CTAB	SDS			Tween 20	CTAB
ปริมาณ (ก./ล.)	0.2	0.4	0.8	0.4	0.4	0.2	0.4	0.8	0.4	0.4
เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มก./ล.)									
0	10190.47	10190.47	10190.47	17714.27	10984.12	10190.47	10190.47	10190.47	17714.27	10984.12
2	7490.96	4239.31	3145.30	14017.08	10915.16	5590.34	2745.79	881.35	14222.21	10304.99
4	7090.78	4034.18	2324.78	13230.76	9762.62	5290.47	2440.67	813.55	13675.20	9491.44
6	6890.43	3350.42	1982.90	12923.06	9152.46	4690.21	2033.88	813.55	13333.32	8677.89
8	6790.47	3145.30	1641.02	12102.55	9016.87	4390.67	1525.41	711.86	12820.50	7999.93
10	6607.29	3049.16	1672.12	11952.00	8585.28	4243.86	1438.02	448.14	12722.95	7902.36
20	6412.96	2327.85	1475.40	11008.00	8130.00	3756.06	892.57	199.17	11502.06	7739.76
30	5635.63	2065.56	1081.96	10656.00	7739.76	2926.80	644.63	149.38	11116.52	7544.64
40	6153.85	3639.32	2065.56	11072.00	8130.00	2943.06	793.39	199.17	11309.29	7674.72
50	6477.73	3377.03	2360.64	11520.00	8455.20	3040.62	793.39	149.38	11759.09	7804.80
60	6315.79	3377.03	2360.64	11904.00	8585.28	3024.36	991.74	248.97	11951.86	8097.48
70	6607.29	3639.32	2262.28	11968.00	8585.28	3365.82	991.74	348.55	12016.12	8585.28
80	6995.95	3934.40	2754.08	12032.00	8845.44	3560.94	991.74	348.55	12433.79	8260.08



## ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข-1 รูปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของฟองอากาศ และขนาดฟองอากาศ ใช้สำหรับหาความเร็วของฟองอากาศจากการทดลอง (Grace และ Wairegi, 1986)

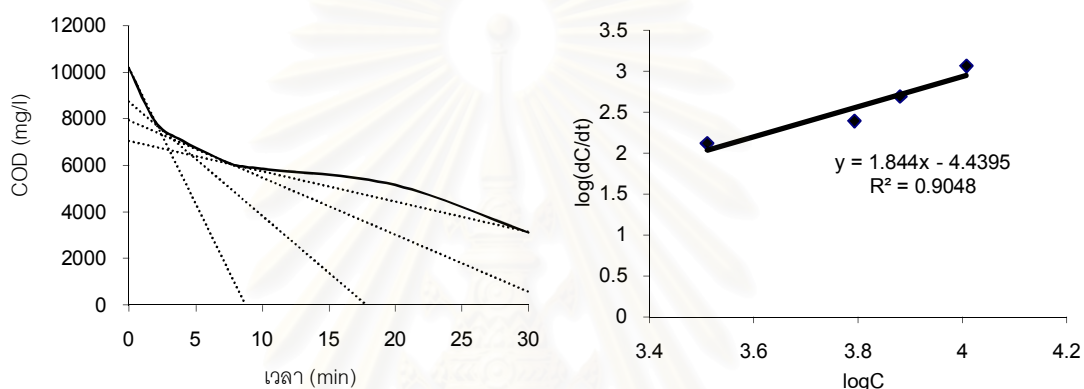


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

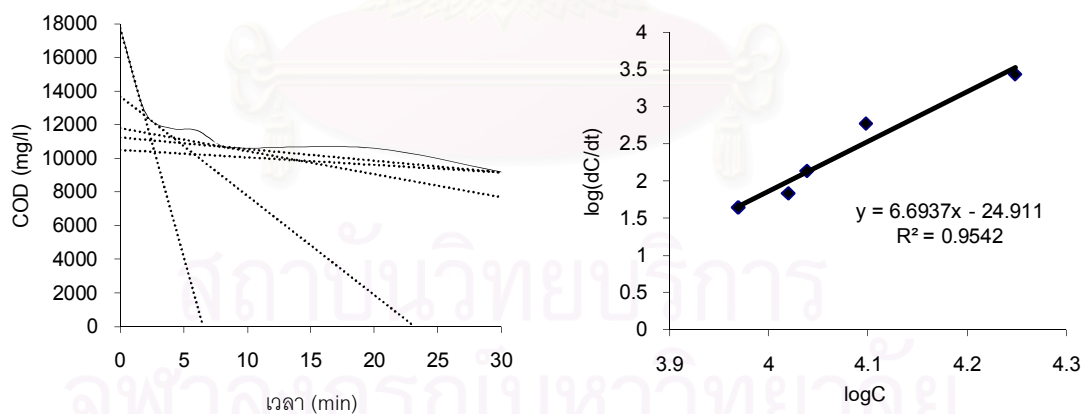
## ภาคผนวก ข (ต่อ)

ภาคผนวก ข-2 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ในกระบวนการ IAF และ MIAF

ภาคผนวก ข-2.1 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ IAF

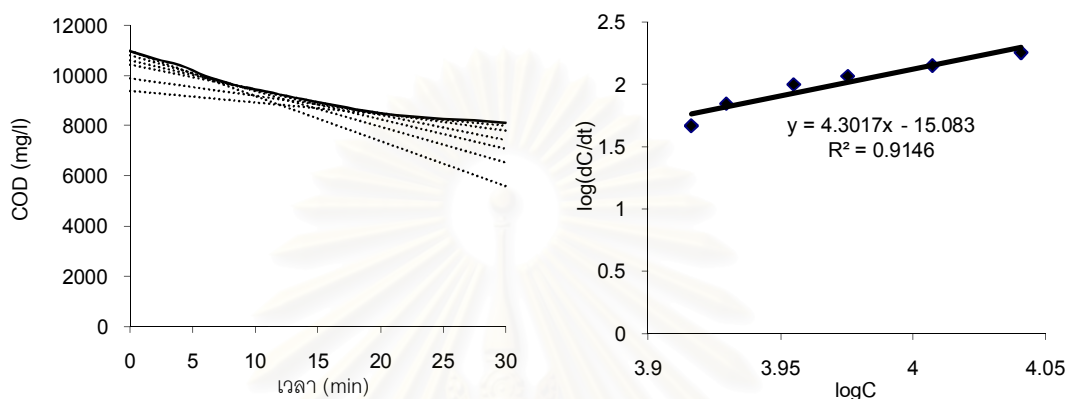


ภาคผนวก ข-2.2 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยกระบวนการ IAF

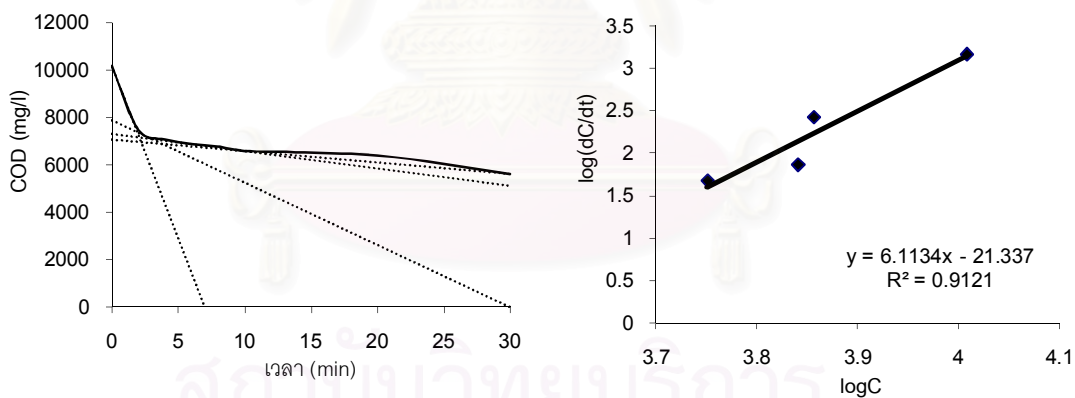


### ภาคผนวก ข (ต่อ)

ภาคผนวก ข-2.3 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (log k) ตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวCTAB ด้วยกระบวนการ IAF

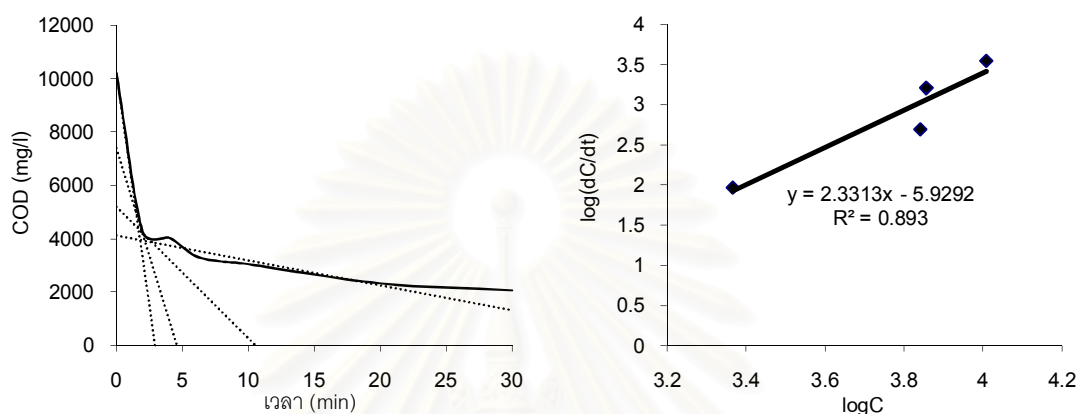


ภาคผนวก ข-2.4 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา(n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (log k) ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวSDS ด้วยกระบวนการ MIAF (0.2 ก./ล. สารส้ม)

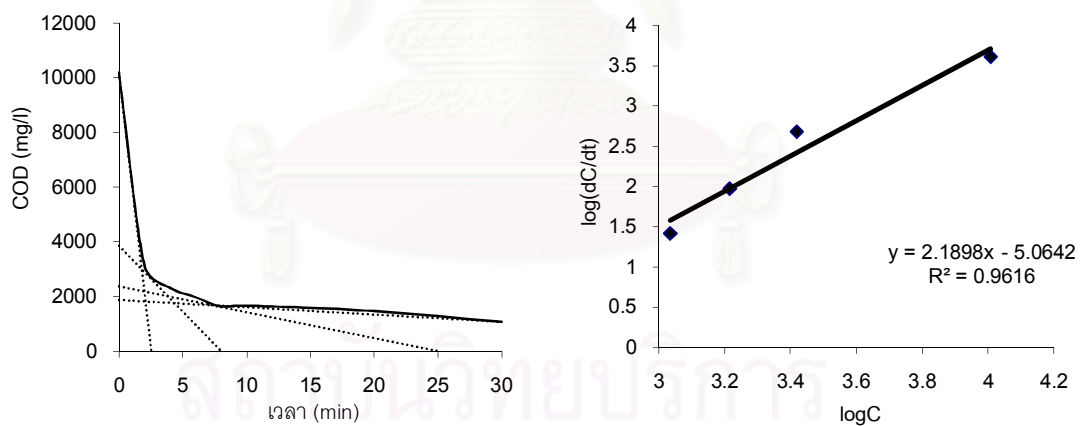


### ภาคผนวก ข (ต่อ)

ภาคผนวก ข-2.5 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF (0.4 ก./ล. สารส้ม)



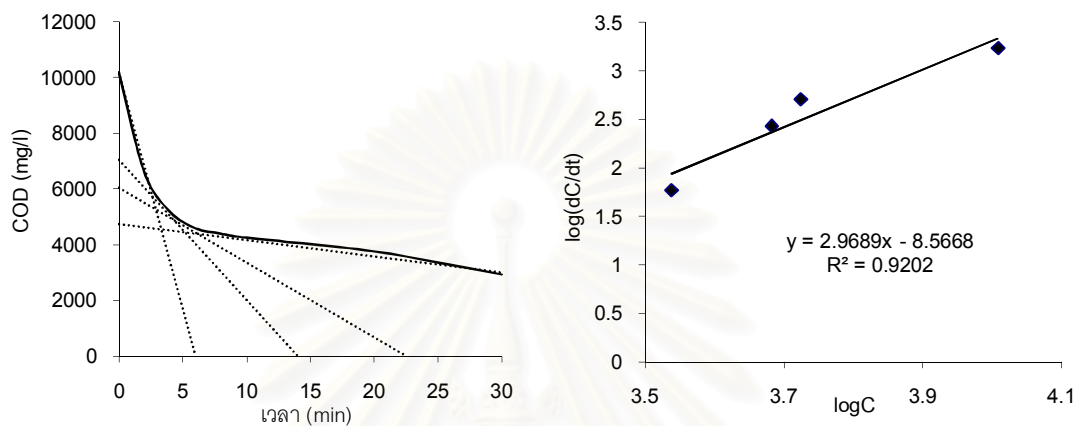
ภาคผนวก ข-2.6 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF (0.8 ก./ล. สารส้ม)



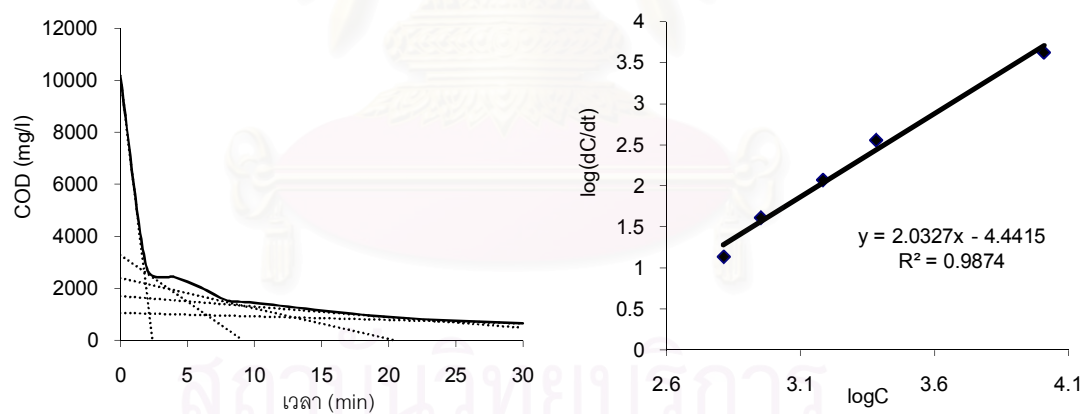
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาคผนวก ข (ต่อ)

ภาคผนวก ข-2.7 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF (0.2 ก./ล. เฟอริกคลอไรด์)

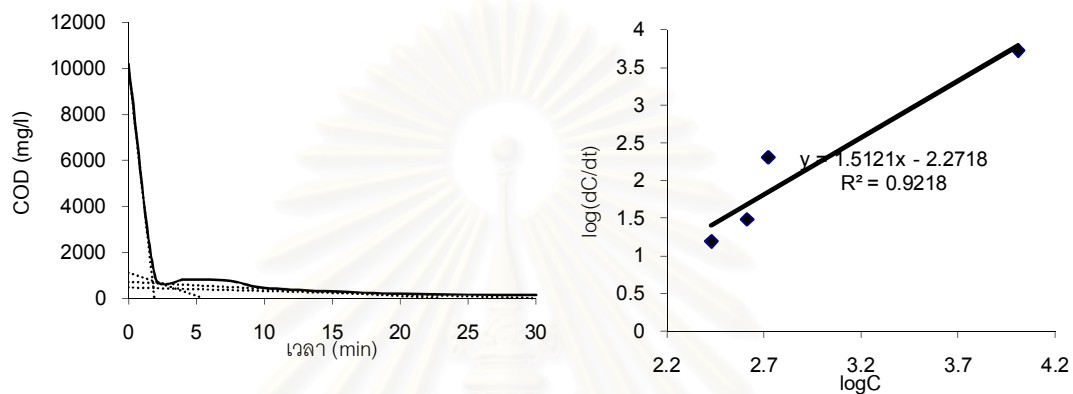


ภาคผนวก ข-2.8 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF (0.4 ก./ล. เฟอริกคลอไรด์)

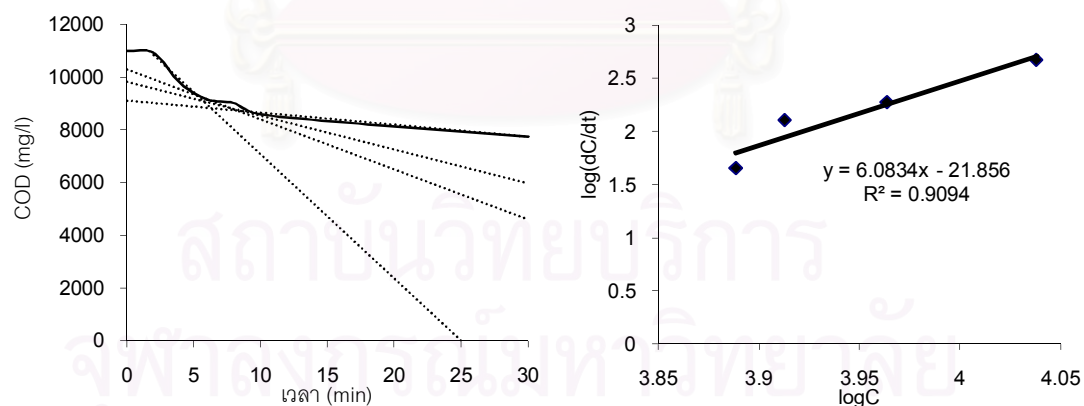


### ภาคผนวก ข (ต่อ)

ภาคผนวก ข-2.9 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ด้วยกระบวนการ MIAF (0.8 ก./ล. เฟอริกคลอไรด์)

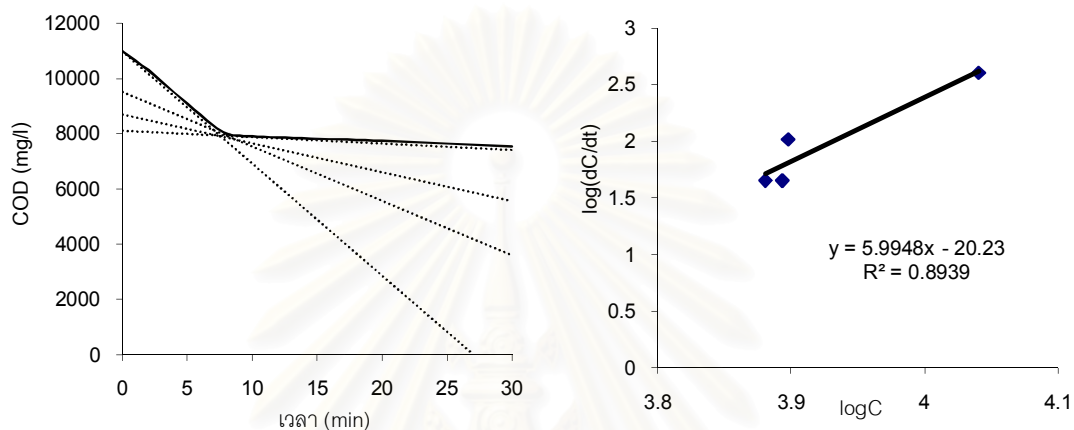


ภาคผนวก ข-2.10 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว CTAB ด้วยกระบวนการ MIAF (0.4 ก./ล. สารส้ม)

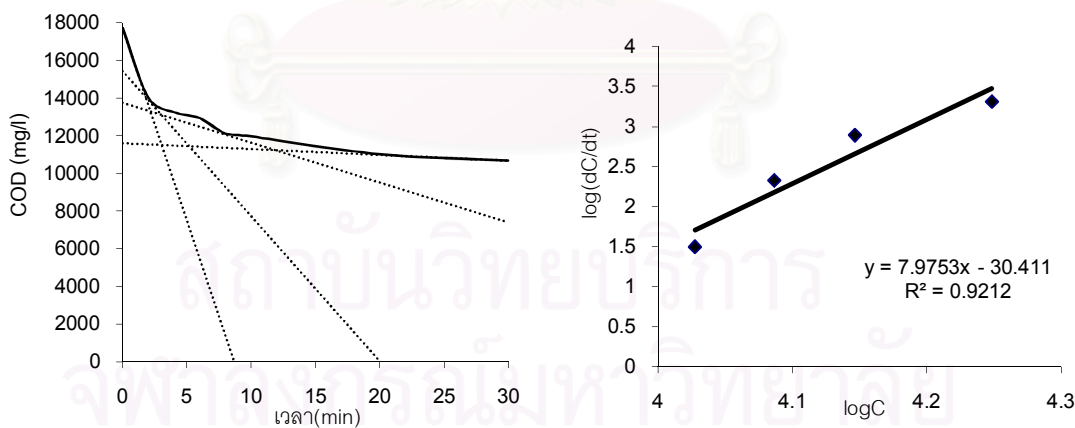


### ภาคผนวก ข (ต่อ)

ภาคผนวก ข-2.11 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวCTAB ด้วยกระบวนการ MIAF (0.4 ก./ล. เฟอริกคลอไรด์)

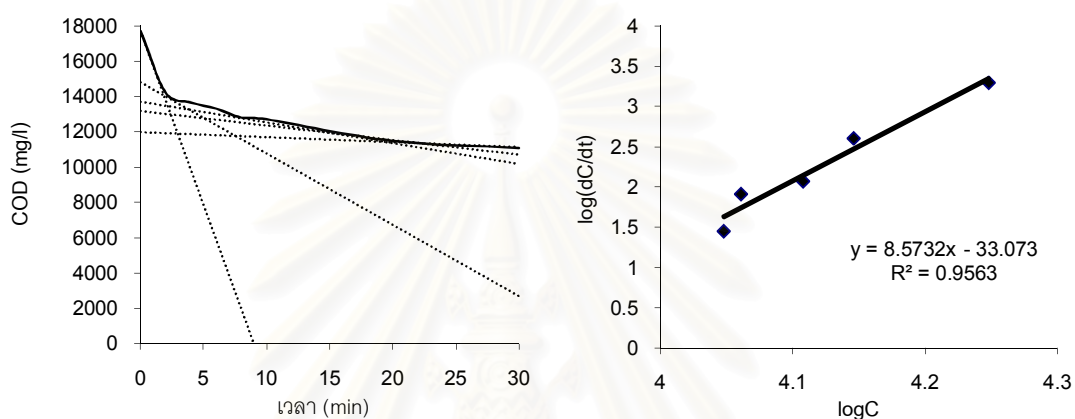


ภาคผนวก ข-2.12 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิวTween 20 ด้วยกระบวนการ MIAF (0.4 ก./ล. สารส้ม)



### ภาคผนวก ข (ต่อ)

ภาคผนวก ข-2.13 รูปการวิเคราะห์ค่าลำดับของปฏิกิริยา (n) ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $\log k$ ) ในตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ด้วยกระบวนการ MIAF (0.4 ก./ล. เฟอริกคลอไรด์)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค-1 ผลการศึกษาตัวแปรด้านอุทกพลศาสตร์ ได้แก่ ขนาดฟองอากาศ ( $D_B$ ) ความเร็วฟองอากาศ ( $U_B$ ) พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะฟองอากาศ(a) ค่าความเร็วแกรเดียนท์ (G) และอัตราส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะต่อความเร็วแกรเดียนท์(a/G)

ภาคผนวก ค-1.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟองอากาศ( $D_B$ ) กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ IAF

อัตราการไหลอากาศ (ล./นาท.)	ขนาดฟองอากาศ (มม.)		
	ตัวอย่าง		
	SDS	CTAB	Tween 20
0.025	0.4539	0.3414	0.5087
0.1	0.5020	0.3450	0.5196
0.3	0.5146	0.3539	0.5245
0.5	0.7985	0.6280	0.8540
0.7	1.1807	0.9962	1.1485

ภาคผนวก ค-1.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟองอากาศ( $D_B$ ) กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ MIAF ด้วยสารส้ม (ก./ล.)

อัตราการไหลอากาศ (ล./นาท.)	ขนาดฟองอากาศ (มม.)				
	ตัวอย่าง				
	SDS			CTAB	Tween 20
	0.2	0.4	0.8	0.4	0.4
0.025	0.4806	0.4905	0.4664	0.3402	0.4615
0.1	0.4998	0.5787	0.4676	0.3384	0.4636
0.3	0.5033	0.5771	0.5472	0.3627	0.4955
0.5	0.7767	0.9048	0.8274	0.5984	0.7628
0.7	1.1634	1.2444	1.1297	0.8452	1.0853

### ภาคผนวก ค (ต่อ)

ภาคผนวก ค-1.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟองอากาศ( $D_b$ ) กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ MIAF ด้วยเฟอริกคลอไรด์(ก./ล.)

อัตราการไหลอากาศ (ล./นาที)	ขนาดฟองอากาศ (มม.)				
	ตัวอย่าง				
	SDS			CTAB	Tween 20
	0.2	0.4	0.8	0.4	0.4
0.025	0.4764	0.4547	0.4793	0.3804	0.4478
0.1	0.4985	0.5064	0.4885	0.3835	0.5354
0.3	0.5013	0.4928	0.4817	0.4012	0.5452
0.5	0.7563	0.7687	0.8438	0.7079	0.8101
0.7	1.0774	1.0721	1.1268	0.9565	1.1534

ภาคผนวก ค-1.4 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วฟองอากาศ ( $U_b$ ) กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ IAF

อัตราการไหลอากาศ (ล./นาที)	ความเร็วฟองอากาศ (ม./วินาที)		
	ตัวอย่าง		
	SDS	CTAB	Tween 20
0.025	0.0490	0.0380	0.0552
0.1	0.0544	0.0385	0.0565
0.3	0.0559	0.0395	0.0571
0.5	0.0839	0.0660	0.0887
0.7	0.1022	0.0953	0.1003

### ภาคผนวก ค (ต่อ)

ภาคผนวก ค-1.5 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วฟองอากาศ ( $U_B$ ) กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ MIAF ด้วยสารส้ม (ก./ล.)

อัตราการไหลอากาศ (ล./นาที)	ความเร็วฟองอากาศ (ม./วินาที)				
	ตัวอย่าง				
	SDS			CTAB	Tween 20
	0.2	0.4	0.8	0.4	0.4
0.025	0.0519	0.0530	0.0501	0.0379	0.0497
0.1	0.0541	0.0635	0.0503	0.0377	0.0499
0.3	0.0546	0.0613	0.0598	0.0406	0.0536
0.5	0.0819	0.0917	0.0863	0.0635	0.0807
0.7	0.1012	0.1064	0.0996	0.0879	0.0983

ภาคผนวก ค-1.6 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วฟองอากาศ ( $U_B$ ) กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ MIAF ด้วยเฟอริกคลอไรด์(ก./ล.)

อัตราการไหลอากาศ (ล./นาที)	ความเร็วฟองอากาศ (ม./วินาที)				
	ตัวอย่าง				
	SDS			CTAB	Tween 20
	0.2	0.4	0.8	0.4	0.4
0.025	0.0513	0.0491	0.0557	0.0415	0.0485
0.1	0.0544	0.0549	0.0563	0.042	0.0584
0.3	0.0543	0.0533	0.0559	0.0446	0.0596
0.5	0.0799	0.0812	0.0877	0.0744	0.0848
0.7	0.0981	0.0979	0.0995	0.0945	0.1006

### ภาคผนวก ค (ต่อ)

ภาคผนวก ค-1.7 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ (a) กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ IAF

อัตราการไหลอากาศ (ล./นาที)	พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ(1/ม.)		
	ตัวอย่าง		
	SDS	CTAB	Tween 20
0.025	66.6049	114.1970	52.7541
0.1	217.0195	446.1430	201.8417
0.3	618.0769	1271.8640	593.5683
0.5	442.2914	714.8473	391.1498
0.7	343.7565	436.9356	360.1063

ภาคผนวก ค-1.8 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ (a) กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ MIAF ด้วยสารส้ม (ก./ล.)

อัตราการไหลอากาศ (ล./นาที)	พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ (1/ม.)				
	ตัวอย่าง				
	SDS			CTAB	Tween 20
	0.2	0.4	0.8	0.4	0.4
0.025	59.3753	56.9886	63.4030	114.8876	64.5920
0.1	219.1488	161.2560	251.9679	464.5000	256.1445
0.3	646.8992	502.5624	543.2809	1207.192	669.3145
0.5	465.8180	357.1113	414.9411	779.7097	481.3176
0.7	352.3149	313.3036	368.6580	558.3079	388.8372

### ภาคผนวก ค (ต่อ)

ภาคผนวก ค-1.9 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ(a) กับอัตราการใช้ไฮดรอกไซด์ในกระบวนการ MIAF ด้วยเฟอริกคลอไรด์(ก./ล.)

อัตราการใช้ไฮดรอกไซด์ (ล./นาที่)	พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ(1/ม.)				
	ตัวอย่าง				
	SDS			CTAB	Tween 20
	0.2	0.4	0.8	0.4	0.4
0.025	60.6192	66.3552	55.4899	93.8372	68.2165
0.1	218.5054	213.1547	215.4739	367.9545	189.5428
0.3	653.1368	676.7708	660.1552	993.5886	547.1232
0.5	490.3181	474.6735	400.4005	562.5812	431.3158
0.7	392.4860	395.2137	369.9911	458.9437	357.4960

ภาคผนวก ค-1.10 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วแกรเดียนท์ (G) กับอัตราการใช้ไฮดรอกไซด์ในกระบวนการ IAF และ MIAF

อัตราการใช้ไฮดรอกไซด์ (ล./นาที่)	ความเร็วแกรเดียนท์ (1/วินาที)
0.025	50.2453
0.1	100.2845
0.3	173.5787
0.5	224.0584
0.7	265.0939

### ภาคผนวก ค (ต่อ)

ภาคผนวก ค-1.11 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนพีเอ็นทีผิวสัมผัสจำเพาะต่อความเร็วแกรเดียนท์ (a/G) กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ IAF

อัตราการไหลอากาศ (ล./นาที)	อัตราส่วน (a/G)		
	ตัวอย่าง		
	SDS	CTAB	Tween 20
0.025	1.3256	2.2728	1.0499
0.1	2.1640	4.4488	2.0127
0.3	3.5608	7.3273	3.4196
0.5	1.9740	3.1905	1.7457
0.7	1.2967	1.6482	1.3584

ภาคผนวก ค-1.12 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนพีเอ็นทีผิวสัมผัสจำเพาะต่อความเร็วแกรเดียนท์ (a/G) กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ MIAF ด้วยสารส้ม (ก./ล.)

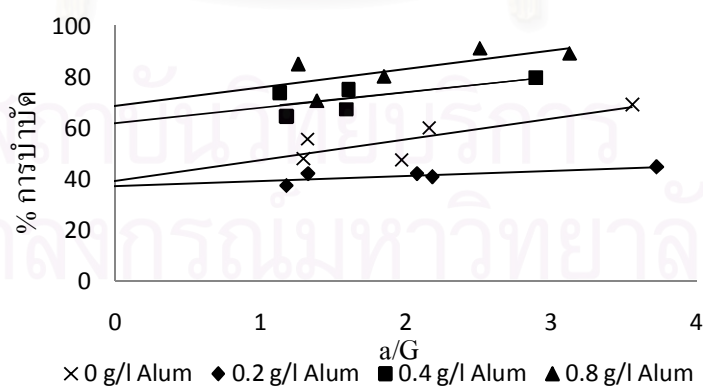
อัตราการไหลอากาศ (ล./นาที)	อัตราส่วน (a/G)				
	ตัวอย่าง				
	SDS			CTAB	Tween 20
	0.2	0.4	0.8	0.4	0.4
0.025	1.1817	1.1342	1.2619	2.2865	1.2855
0.1	2.1853	1.6080	2.5125	4.6318	2.5542
0.3	3.7268	2.8953	3.1299	6.9547	3.8560
0.5	2.0790	1.5938	1.8519	3.4799	2.1482
0.7	1.3290	1.1819	1.3907	2.1061	1.4668

### ภาคผนวก ค (ต่อ)

ภาคผนวก ค-1.13 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะต่อความเร็วแกรเดียนท์ (a/G) กับอัตราการไหลอากาศในกระบวนการ MIAF ด้วยเพอร์ริกคลอไรด์ (ก./ล.)

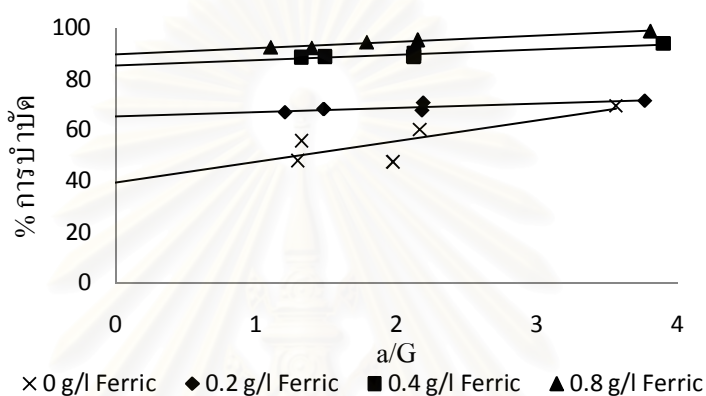
อัตราการไหลอากาศ (ล./นาที)	อัตราส่วน (a/G)				
	ตัวอย่าง				
	SDS			CTAB	Tween 20
	0.2	0.4	0.8	0.4	0.4
0.025	1.206465	1.320626	1.10438	1.867581	1.357669
0.1	2.178855	2.1255	2.148627	3.669106	1.890051
0.3	3.76277	3.898928	3.803204	5.724139	3.152018
0.5	2.18835	2.118526	1.787036	2.510869	1.925015
0.7	1.480554	1.490844	1.395698	1.73125	1.348564

ภาคผนวก ค-1.14 รูปผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับสัดส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะต่อความเร็วแกรเดียนท์ (a/G) สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ในกระบวนการ IAF และ MIAF ด้วยสารส้ม (ก./ล.)

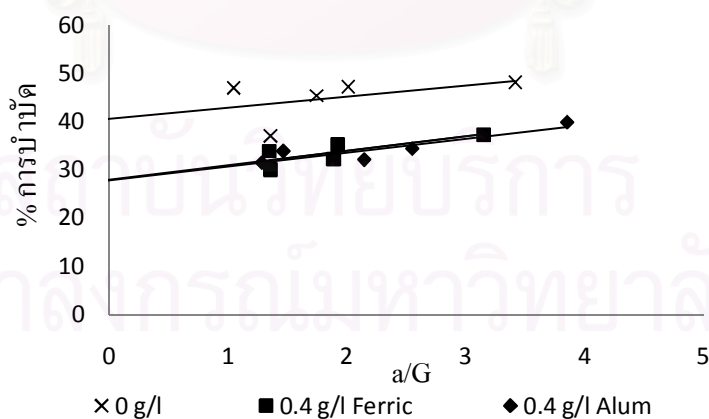


### ภาคผนวก ค (ต่อ)

ภาคผนวก ค-1.15 รูปผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับสัดส่วนพีเอ็นที ผิวส์มัดส์จำเพาะต่อความเร็วแรงแเดียนท์(a/G) สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS ในกระบวนการ IAF และ MIAF ด้วยเฟอริกคลอไรด์ (ก./ล.)

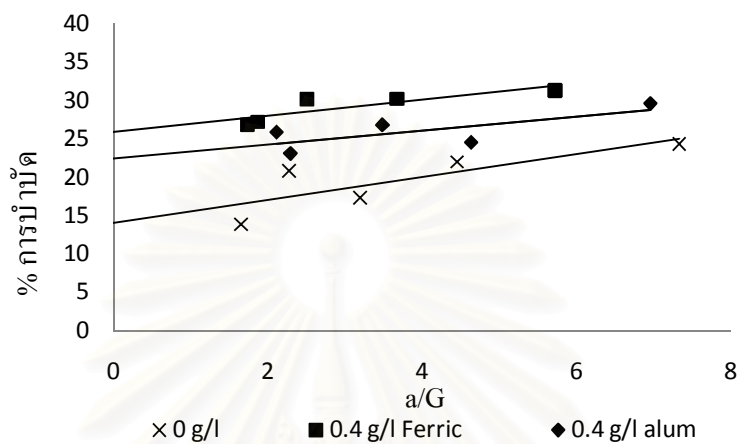


ภาคผนวก ค-1.16 รูปผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับสัดส่วนพีเอ็นที ผิวส์มัดส์จำเพาะต่อความเร็วแรงแเดียนท์(a/G) สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนนํ้ามันร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ในกระบวนการ IAF และ MIAF ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ (ก./ล.)





ภาคผนวก ค-1.17 รูปผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับสัดส่วนพี นที่ ผิวสัมผัสดำเพาะต่อความเร็วแกรเดียนท์(a/G) สำหรับตัวอย่างน้ำ ำเสียปนเปื้อนน้ ำมันร่วมกับสารลด แรงตึงผิว CTAB ในกระบวนการ IAF และ MIAF ด้วยสารส้ม และเฟอริกคลอไรด์ (ก./ล.)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ประจักษ์ ศาสตรเวช เกิดวันที่ 30 มิถุนายน 2526 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2549 ก่อนเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย