

การกำจัดน้ำมันสำหรับน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมัน
ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย



นายเกียรติพงศ์ เจริญสุข

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4715-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OIL REMOVAL OF OIL REFINERY WASTEWATER
USING COAGULATION AND DISSOLVED AIR FLOTATION PROCESSES



Mr.Kiattiphong Charoensook

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4715-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกำจัดน้ำมันสำหรับน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันด้วยกระบวนการ
โคแอกกูเลชันกับกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย

โดย

นายเกียรติพงศ์ เจริญสุข

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

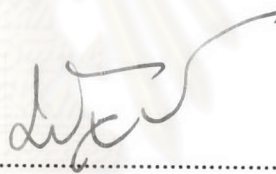
อาจารย์ที่ปรึกษา

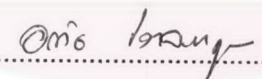
รองศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์

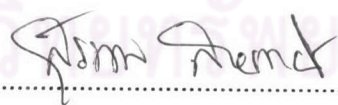
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท



.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โล่ห้วงศ์วัฒน์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ชาวเขียว)

เกียรติพงศ์ เจริญสุข : การกำจัดน้ำมันสำหรับน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย. (OIL REMOVAL OF OIL REFINERY WASTEWATER USING COAGULATION AND DISSOLVED AIR FLOTATION PROCESSES) อ. ที่ปรึกษา : รศ.อรรถัย ขวาลภาฤทธิ์, 125 หน้า. ISBN 974-17-4715-2

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพ และสภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดน้ำมันสำหรับน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นการทดลองเพื่อศึกษามลของตัวแปรในกรณีการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชัน ตามด้วยการตกตะกอน โดยปรับเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสีย ชนิดและปริมาณของสารโคแอกกูแลนท์และสารฟล็อกคูแลนท์เอ็ด โดยสารโคแอกกูแลนท์ที่ใช้ได้แก่ สารส้มและโพลีเมอร์ประจุบวก ส่วนฟล็อกคูแลนท์เอ็ดที่ใช้ได้แก่ โพลีเมอร์ประจุลบ

การทดลองในส่วนที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อศึกษามลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการดีเอเอฟ เป็นการทดลองกรณีการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย ตัวแปรที่ศึกษาคือ ความดัน ความเข้มข้นของปริมาตรฟองอากาศ และปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณของสารโคแอกกูแลนท์และสารฟล็อกคูแลนท์เอ็ด จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมมาทำการทดลองโดยใช้กระบวนการดีเอเอฟแบบโคแอกกูเลชันดีเอเอฟคอลลัมน์ โดยปรับเปลี่ยนค่าภาระทางชลศาสตร์เพื่อหาค่าภาระทางชลศาสตร์ที่เหมาะสม

จากผลการทดลอง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันตามด้วยการตกตะกอนคือค่าพีเอชเท่ากับ 6 ปริมาณสารส้มเท่ากับ 20 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุลบเท่ากับ 1 มก./ล. ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ซีไอดีและ น้ำมันและไขมัน เท่ากับร้อยละ 89.6 3.6 51.8 และ 81.4 ตามลำดับ

กระบวนการโคแอกกูเลชันทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการดีเอเอฟดีขึ้น จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการดีเอเอฟ คือค่าพีเอชเท่ากับ 6 ปริมาณสารส้มเท่ากับ 20 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุลบเท่ากับ 1 มก./ล. ที่ค่าความดันอัดอากาศ 5 บาร์ ค่าความเข้มข้นของปริมาตรฟองอากาศ 11 ล./ลบ.ม. ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ซีไอดีและ น้ำมันและไขมัน เท่ากับร้อยละ 86.5 6.4 49.2 87.2 ตามลำดับ

จากการทดลองโดยใช้กระบวนการดีเอเอฟแบบโคแอกกูเลชันดีเอเอฟคอลลัมน์ พบว่าเมื่อใช้ค่าภาระทางชลศาสตร์เท่ากับ 9 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ค่าพีเอชเท่ากับ 6 ปริมาณสารส้มเท่ากับ 20 มก./ล.และ โพลีเมอร์ประจุลบเท่ากับ 1 มก./ล. ความดันอัดอากาศ 5 บาร์ ความเข้มข้นของปริมาตรฟองอากาศ 11 ล./ลบ.ม ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ซีไอดีและ น้ำมันและไขมัน เท่ากับร้อยละ 88.6 11.6 39.1 และ 80.6 ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนิสิต กวีเบญจพร เจริญสุข

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อ.อรรถัย ขวาลภาฤทธิ์

##4370233821 : MAJOR ENVIROMENTAL ENGINEERING

KEY WORDS : DISSOLVED AIR FLOTATION / COAGULATION / OIL REMOVAL

KIATTIPHONG CHAROENSOOK : OIL REMOVAL OF OIL REFINERY WASTEWATER USING COAGULATION AND DISSOLVED AIR FLOTATION PROCESSES. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, 125 pp. ISBN 974-17-4715-2

The objective of this research is to study an efficiency and an optimum condition using coagulation and dissolved air flotation processes for oil removal from oil refinery wastewater. The studies were done using bench-scale DAF model and Coaxial DAF Column model. The parameters being studied for coagulation process were pH, concentration of alum or cationic polymer as coagulant adjustment, as well as concentration of anionic polymer as flocculant aid adjustment . For the study on variable factors affecting to an efficiency of DAF process, the parameters being studied were pressure adjustment, air bubble volume concentration adjustment, hydraulic loading rate adjustment, concentration of alum or cationic polymer as coagulant adjustment and concentration of anionic polymer as flocculant aid adjustment, respectively. Finally the optimum conditions turning out from the two referred studies would be experimentally done under a Coaxial DAF Column to get an optimum hydraulic loading rate.

The results of experiments indicated that the best conditions for treated wastewater by coagulation were pH 6, 20 mg/l for dosaged of alum and 1 mg/l for anionic polymer. The removal efficiency of SS, TS, COD and O&G were 89.6%, 3.6%, 51.8% and 81.4% respectively.

Pre-treatment by coagulation was necessary to obtain a high efficiency. Coagulation dosage and pH adjustment enhanced DAF performance. The best conditions for treated wastewater by coagulation and DAF were optimum pH as 6, 20 mg/l for dosaged of alum and 1 mg/l for anionic polymer, 5 bars pressure and 11 l/m³ for air bubble volume concentration. The removal efficiency of SS, TS, COD and O&G were 86.5%, 6.4%, 49.2% and 87.2% respectively.

From the experiments, when using Coaxial DAF Column for treated wastewater operated with pH 6, 20 mg/l for dosaged of alum and 1 mg/l for anionic polymer, 5 bars pressure, 11 l/m³ for air bubble volume concentration and hydraulic loading rate at 9 m³ / m² -hr. The removal efficiency of SS, TS, COD and O&G were 88.6%, 11.6%, 39.1% and 80.6% respectively.

Department : Environmental Engineering

Field of study : Environmental Engineering

Academic year : 2003

Student's signature kiattiphong C.

Advisor's signature Orathai Chavalparit

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่ง จากหลาย ๆ ท่าน ซึ่งผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบคุณทุก ๆ ท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ ให้มีความถูกต้อง ครบถ้วน และสมบูรณ์ รวมทั้งขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน ที่กรุณาอบรมและถ่ายทอดความรู้

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการนำตัวอย่างน้ำเสียมาทำการทดลอง และคุณ จงโปรด คชภูมิ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโท ที่ได้ช่วยเหลือและแนะนำในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่กราบขอขอบคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่ให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
2. ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ระบบคอลลอยด์.....	4
2.2 กระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	4
2.2.1 การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์.....	4
2.2.2 การสร้างสัมผัสระหว่างอนุภาคคอลลอยด์.....	5
2.2.3 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	8
2.2.4 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มและสารประกอบเหล็ก.....	8
2.2.5 กลไกโคแอกกูเลชันที่เกิดจากการใช้โพลีเมอร์และโคแอกกูเลชันเฮด อื่น ๆ.....	9
2.3 การทำให้ลอยตัวด้วยอากาศละลาย.....	10
2.3.1 ฟองอากาศ.....	10
2.3.2 โมเดลการลอยตัว.....	13
2.4 น้ำมันและไขมัน.....	19
2.4.1 ประเภทของน้ำมันและไขมัน.....	19
2.4.2 ลักษณะของน้ำมันในน้ำเสีย.....	19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.5 การกำจัดน้ำมันในน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมัน.....	21
2.5.1 การกำจัดน้ำมันเบื้องต้น	22
2.5.2 การกำจัดน้ำมันโดยกระบวนการทางเคมีร่วมกับกระบวนการ ทางกายภาพ.....	23
2.6 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันบางจาก.....	24
2.6.1 การบำบัดน้ำทิ้งโดยกระบวนการทางกายภาพ.....	25
2.6.2 การบำบัดน้ำทิ้งโดยกระบวนการทางชีววิทยา.....	25
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
3. แผนงานการวิจัยและการดำเนินงาน.....	34
3.1 แผนงานการวิจัยและการดำเนินงาน	34
3.1.1 ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการวิจัย	34
3.1.2 การทำการทดลอง	34
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง.....	35
3.2.1 การทดลองกระบวนการโคเอกกูเลชัน.....	35
3.2.2 การทดลองกระบวนการโคเอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการ DAF	37
3.3 พารามิเตอร์ที่ศึกษา	39
3.3.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบ Coaxial DAF Column	39
3.3.2 พารามิเตอร์กำหนด	40
3.3.3 พารามิเตอร์อิสระ	43
3.3.4 พารามิเตอร์เปลี่ยนแปลง	43
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	44
3.5 วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	44
3.6 วิธีใช้ระบบ DAF ในระดับห้องปฏิบัติการ	45
3.6.1 ระบบ DAF ระดับห้องปฏิบัติการ	45
3.6.2 ระบบ DAF แบบ Coaxial DAF Column ระดับห้องปฏิบัติการ	47
3.6.3 การเตรียมน้ำเพื่อใช้อัดอากาศ.....	49

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์	50
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	50
4.2 การทดลองโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	51
4.2.1 การทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสม	51
4.2.2 การทดสอบหาปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสม.....	54
4.2.3 การทดสอบหาปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนท์ร่วมกับฟลอยด์คูลแลนท์เอ็ด ที่เหมาะสม	60
4.2.4 สรุปผลการทดลองโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชัน	61
4.3 การทดลองโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการ DAF	63
4.3.1 การทดสอบหาค่าความดันที่เหมาะสม	63
4.3.2 การทดสอบหาความเข้มข้นของปริมาตรฟองอากาศที่เหมาะสม	67
4.3.3 การทดสอบหาปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสมร่วมกับ กระบวนการ DAF.....	72
4.3.4 การทดสอบหาปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนท์กับฟลอยด์คูลแลนท์เอ็ด ที่เหมาะสมร่วมกับกระบวนการ DAF	78
4.3.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดจากการศึกษา	81
4.3.6 การทดสอบหาค่าภาระทางชีวศาสตร์ที่เหมาะสมโดย DAF แบบ Coaxial DAF Column	85
4.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัด.....	89
4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการ DAF ของ บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) กับการทดลอง.....	90
4.6 ระบบ DAF แบบ Coaxial DAF Column สำหรับบำบัดน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมัน.....	91
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	92
5.1 สรุปผลการทดลอง	92
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม	94

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง.....	95
ภาคผนวก.....	98
ภาคผนวก ก การหาค่า ϕ_0	99
ภาคผนวก ข การประเมินค่าสารเคมีในการบำบัด.....	102
ภาคผนวก ค การหาค่าภาระทางชลศาสตร์.....	104
ภาคผนวก ง การปรับแก้ประสิทธิภาพการบำบัดเนื่องจากผลของการเจือจาง.....	106
ภาคผนวก จ เกณฑ์การออกแบบ DAF.....	108
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลการทดลอง.....	110
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	125

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและปริมาณการละลายของอากาศในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ณ ความดันบรรยากาศ	13
ตารางที่ 2.2 ลักษณะน้ำเสียในตัวอย่างน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียน้ำมันของโรงกลั่นน้ำมัน บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)	26
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบการแยกฟลักซ์น้ำมันด้วยวิธีการตกตะกอนกับ DAF	29
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษโดยใช้อลูมิเนียมซัลเฟตกับ โพลีอิเล็กโตรไลต์.....	30
ตารางที่ 3.1 เกณฑ์ในการออกแบบ Coaxial DAF Column.....	40
ตารางที่ 3.2 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ.....	44
ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียของโรงกลั่นน้ำมันบางจากที่ใช้ในการทดลอง	50
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยใช้สารส้มเป็นสารโคแอกกูแลนต์	52
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสาร โคแอกกูแลนต์.....	52
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาปริมาณการใช้สารส้มที่เหมาะสม.....	56
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองหาปริมาณการใช้โพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสม.....	58
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองหาปริมาณการใช้สารส้มกับโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสม	60
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูแลชั่น	63
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองหาค่าความดันที่เหมาะสม	65
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองหาค่าความเข้มข้นของปริมาตรฟองอากาศที่เหมาะสม(ชุดควบคุม)	67
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองหาค่าความเข้มข้นของปริมาตรฟองอากาศที่เหมาะสมโดยใช้ สารโคแอกกูแลนต์	68
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมร่วมกับกระบวนการ DAF	73
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมร่วมกับกระบวนการ DAF	76
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองหาปริมาณสารส้มและโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมร่วมกับ กระบวนการ DAF	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.14	
เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่สภาวะเหมาะสมของการทดลอง ชุดต่าง ๆ.....	82
ตารางที่ 4.15	
ผลการทดลองหาค่าภาระทางชีวศาสตร์ที่เหมาะสมโดย DAF แบบ Coaxial DAF Column	86
ตารางที่ 4.16	
ค่าสารเคมีในการบำบัด.....	89
ตารางที่ 4.17	
เปรียบเทียบค่าที่ใช้ในการเดินระบบ DAF และประสิทธิภาพในการบำบัด.....	90
ตารางที่ 4.18	
ระบบ DAF แบบ Coaxial DAF Column.....	91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1	กลไกของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยสารโพลีเมอร์..... 6
รูปที่ 2.2	ผลของความดันที่มีต่อขนาดของฟองอากาศในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 11
รูปที่ 2.3	กลไกการเคลื่อนที่ของอนุภาค 15
รูปที่ 2.4	ผลของขนาดของอนุภาคที่มีต่อ SCCE..... 15
รูปที่ 2.5	ผลของขนาดของอนุภาคที่มีต่อความเร็วลอยขึ้นของอนุภาค-ฟองอากาศ 18
รูปที่ 2.6	ความคงตัวของเมื่อน้ำมันที่เกิดจากสารซักฟอก..... 21
รูปที่ 2.7	แผนผังการบำบัดน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันบางจาก 27
รูปที่ 2.8	ชุดเครื่องมือทดสอบ Coaxial Cylinder-type Flotation Column 28
รูปที่ 2.9	Coaxial DAF Colmn 32
รูปที่ 3.1	แผนผังการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชันในการกำจัดน้ำมัน..... 36
รูปที่ 3.2	แผนผังการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการ DAF ในการกำจัดน้ำมัน 38
รูปที่ 3.3	ชุดเครื่องมือระบบ DAF 41
รูปที่ 3.4	ชุดเครื่องมือระบบ DAF แบบ Coaxial DAF Column 42
รูปที่ 3.5	ชุดเครื่องมือระบบ DAF ระดับห้องปฏิบัติการ 46
รูปที่ 3.6	ชุดเครื่องมือระบบ DAF แบบ Coaxial DAF Column ระดับห้องปฏิบัติการ 48
รูปที่ 4.1	ปริมาณสารมลพิษที่เหลือในการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับสารส้ม..... 53
รูปที่ 4.2	ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษในการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับสารส้ม.... 53
รูปที่ 4.3	ปริมาณสารมลพิษที่เหลือในการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับโพลีเมอร์ ประจุบวก 55
รูปที่ 4.4	ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษในการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับ โพลีเมอร์ประจุบวก..... 55
รูปที่ 4.5	ปริมาณสารมลพิษที่เหลือในการทดลองหาค่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสม..... 57
รูปที่ 4.6	ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษในการทดลองหาค่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสม..... 57
รูปที่ 4.7	ปริมาณสารมลพิษที่เหลือในการทดลองหาค่าปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสม..... 59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.8	ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษในการทดลองหาค่าปริมาณโพลิเมอร์ประจุบวก ที่เหมาะสม 59
รูปที่ 4.9	ปริมาณสารมลพิษที่เหลือในการทดลองหาค่าปริมาณสารส้มกับโพลิเมอร์ประจุลบ ที่เหมาะสม 62
รูปที่ 4.10	ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษในการทดลองหาค่าปริมาณสารส้มกับ โพลิเมอร์ประจุลบที่เหมาะสม 62
รูปที่ 4.11	ปริมาณสารมลพิษที่เหลือในการทดลองหาค่าความดันที่เหมาะสม 66
รูปที่ 4.12	ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษในการทดลองหาค่าความดันที่เหมาะสม 66
รูปที่ 4.13	ปริมาณสารมลพิษที่เหลือในการทดลองหาค่าความเข้มข้นของปริมาตรฟองอากาศ ที่เหมาะสม 70
รูปที่ 4.14	ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษในการทดลองหาค่าความเข้มข้นของ ปริมาตรฟองอากาศที่เหมาะสม 71
รูปที่ 4.15	ปริมาณสารมลพิษที่เหลือในการทดลองหาค่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมร่วมกับ DAF .. 74
รูปที่ 4.16	ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษในการทดลองหาค่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมร่วมกับ DAF 74
รูปที่ 4.17	ปริมาณสารมลพิษที่เหลือในการทดลองหาค่าปริมาณโพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสม ร่วมกับ DAF 77
รูปที่ 4.18	ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษในการทดลองหาค่าปริมาณโพลิเมอร์ประจุบวก ที่เหมาะสมร่วมกับ DAF 77
รูปที่ 4.19	ปริมาณสารมลพิษที่เหลือในการทดลองหาค่าปริมาณสารส้มกับโพลิเมอร์ประจุลบ ที่เหมาะสมร่วมกับ DAF 80
รูปที่ 4.20	ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษในการทดลองหาค่าปริมาณสารส้มกับโพลิเมอร์ประจุลบ ที่เหมาะสมร่วมกับ DAF 80
รูปที่ 4.21	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน 83
รูปที่ 4.22	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับกระบวนการ DAF 83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.23	
เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับ DAF	84
รูปที่ 4.24	
ปริมาณสารมลพิษที่เหลือในการทดลองหาค่าภาวะทางชลศาสตร์ที่เหมาะสมโดย DAF แบบ Coaxial DAF Column	87
รูปที่ 4.25	
ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษในการทดลองหาค่าภาวะทางชลศาสตร์ที่เหมาะสมโดย DAF แบบ Coaxial DAF Column	88

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย