

ผลของความดันในถึงอัดความดันต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดตะกอนชั้นต้น
โดยใช้การลอยตัวด้วยอากาศละลายสำหรับน้ำเสียโรงงานอิเล็กทรอนิกส์



นางสาว สุธิดา ตีระธัญญา

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4980-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF PRESSURE IN A PRESSURE TANK ON THE EFFICIENCY OF
PRIMARY CLARIFIER USING DISSOLVED AIR FLOTATION FOR EFFLUENT
FROM ELECTRONIC FACTORY



Miss Suthida Teerathunya

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4980-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความดันในถังอัดความดันต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด ตะกอนชั้นต้น โดยใช้การลอยตัวด้วยอากาศละลายสำหรับน้ำเสีย โรงงานอิเล็กทรอนิกส์
โดย	นางสาว สุธิดา ตีระธัญญา
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. วิทย์ สุนทรนันท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นางสาวสร้อยศลี ศรีสันติสุข

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัญย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. วิทย์ สุนทรนันท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นางสาวสร้อยศลี ศรีสันติสุข)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ ภาวสันต์)

สุธิดา ตีระธัญญา : ผลของความดันในถังอัดความดันต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดตะกอนชั้นต้น โดยใช้การลอยตัวด้วยอากาศละลายสำหรับน้ำเสียโรงงานอิเล็กทรอนิกส์. (EFFECTS OF PRESSURE IN A PRESSURE TANK ON THE EFFICIENCY OF PRIMARY CLARIFIER USING DISSOLVED AIR FLOTATION FOR EFFLUENT FROM ELECTRONIC FACTORY) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. วิทย์สุนทรนันท์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นางสาวสร้อยศุจี ศรีสันติสุข, 133 หน้า. ISBN 974-17-4980-5

กระบวนการทำให้ลอย เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้แยกสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก โดยใช้อากาศละลายลงในน้ำเสียภายใต้ความดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศ จากนั้นลดความดันของระบบลงให้เท่ากับความดันบรรยากาศ ทำให้เกิดการแยกตัวของอากาศส่วนหนึ่งออกจากน้ำในรูปฟองอากาศขนาดเล็กซึ่งสามารถพาอนุภาคต่าง ๆ ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำและสามารถกำจัดออกได้โดยง่าย งานวิจัยนี้ศึกษาถึงอิทธิพลของความดันที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมลสารในน้ำเสีย ได้แก่การกระจายตัวของของแข็งแขวนลอย ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทั้งหมด ค่าซีไอดี รวมทั้งค่าน้ำมันและไขมัน โดยความดันที่ศึกษาคือ 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 MPa

จากผลการศึกษาพบว่า ค่าซีไอดี ค่าของแข็งแขวนลอย และค่าน้ำมันและไขมัน มีค่าลดลงหลังจากผ่านกระบวนการทำให้ลอย โดยความดันที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.4 MPa โดยสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ประสิทธิภาพค่าของแข็งแขวนลอย และประสิทธิภาพค่าน้ำมันและไขมัน ได้เท่ากับ 65.52%, 97.53% และ 97.06% ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา ...วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา.....2546..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4371503421 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: DISSOLVED AIR FLOTATION / EFFECT OF PRESSURE/ SINGLE COLLISION EFFICIENCY/ BUBBLE FILTER EFFICIENCY/ BUBBLE SIZE

SUTHIDA TEERATHUNYA : EFFECTS OF PRESSURE IN A PRESSURE TANK ON THE EFFICIENCY OF PRIMARY CLARIFIER USING DISSOLVED AIR FLOTATION FOR EFFLUENT FROM ELECTRONIC FACTORY.

THESIS ADVISOR : DR. WIT SOONTARANUN, THESIS CO-ADVISOR : SOISAJEE SRISUNTISUK, 133 pp. ISBN 974-17-4980-5

Dissolved Air Flotation (DAF) is the technique used to remove inorganic and organic particles from water by using air that dissolved in water at the pressure higher than atmosphere. Subsequence reduction of pressure causes partial separation of air from water in the form of fine bubbles which can take solid particles up to the surface of water. This process enables relatively easy removal of suspended solids from water. This work focused on the study of the effect of pressure of DAF in the removal of pollutants from wastewater that was measured by the distribution of suspended solid, pH, the conductivity, Total Dissolved Solid, Chemical Oxygen Demand (COD) and Oil&Grease at the pressures of 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 and 0.7 MPa respectively.

The results revealed that COD, Total Suspended Solid (TSS) and Oil&Grease are remarkably decreased by using the DAF process and the suitable pressure in this study is 0.4 MPa. Consequently, the average efficiencies for the removal of COD, TSS and Oil&Grease were found to be 65.52%, 97.53% and 97.06% respectively.

Department...CHEMICAL..ENGINEERING.... Student's signature

Field of study...CHEMICAL ENGINEERING... Advisor's signature

Academic year ...2003..... Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร. วิทย์ สุนทรนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาตลอดจนคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณ บริษัทมินิแปไทย จำกัด (บางปะอิน) ที่ให้ความช่วยเหลือ ด้านสถานที่ในการทดลอง รวมทั้งสารเคมีและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ตลอดการทำวิจัยทดลอง

ผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวสร้อยศลี ศรีสันติสุข อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม, รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์, รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินทร์พานิชกุล และ รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ ภาวสันต์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ทำยนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งสนับสนุน และให้กำลังใจมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
สัญลักษณ์.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 มूलเหตุจูงใจ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย.....	4
2. ทฤษฎี.....	6
2.1 Coagulation and Flocculation.....	6
2.1.1 นิยาม.....	6
2.1.2 ลักษณะของอนุภาคคอลลอยด์ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย.....	6
2.1.3 กลไกการเกิดการเกาะรวมตัวของคอลลอยด์.....	10
2.1.4 ผลของความเร็วและเวลาที่มีต่อการเกาะรวมตัว.....	12
2.1.5 การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์.....	13
2.1.6 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ Coagulation และ Flocculation	14
2.2 กระบวนการทำให้ตะกอนลอย (flotation)	17
2.2.1 นิยาม.....	17
2.2.2 การลอยตัวโดยใช้การกระจายตัวของอากาศ (Dispersed-Air Flotation).....	17
2.2.3 การลอยตัวโดยการใช้อากาศละลายในน้ำ (Dissolved-Air Flotation, DAF).....	18

สารบัญ

	หน้า
2.2.3.1 ระบบการลอยตัวด้วยอากาศละลายแบบ ไม่มีการหมุนเวียน.....	19
2.2.3.2 ระบบการลอยตัวด้วยอากาศละลายแบบ มีการหมุนเวียน.....	19
2.2.3.3 กลไกการทำงานของกระบวนการ Dissolved Air Flotation.....	24
3. การทดลอง.....	37
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.3 วิธีการทดลอง.....	39
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	44
4.1 คุณลักษณะของน้ำเสีย.....	44
4.2 ผลของ Dissolved Air Flotation (DAF) ต่อคุณภาพน้ำทิ้ง.....	45
4.3 ผลของความในการอัดอากาศต่อค่าซีไอดี.....	58
4.4 ผลของความดันต่อค่าของแข็งแขวนลอย.....	64
4.5 ผลของความดันในการอัดอากาศต่อค่าน้ำมันและไขมัน.....	87
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	94
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	94
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	94
รายการอ้างอิง.....	95
ภาคผนวก.....	97
ภาคผนวก ก (ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง).....	98
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
1.1 ผลการตรวจวัดค่าบีโอดี ในน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบน้ำทิ้งที่ผ่านบ่อบำบัดตะกอนชั้นแรกแล้ว.....	2
1.2 ผลการตรวจวัดค่าซีโอดี ในน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านบ่อบำบัดตะกอนชั้นแรกแล้ว.....	3
1.3 ผลการตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบน้ำทิ้ง ที่ผ่านบ่อบำบัดตะกอนชั้นแรกแล้ว.....	3
1.4 ผลการตรวจวัดค่าไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบน้ำทิ้ง ที่ผ่านบ่อบำบัดตะกอนชั้นแรกแล้ว	4
2.1 เวลาที่ใช้ในการตกตะกอนของอนุภาคชนิดต่าง ๆ	7
2.2 ขั้นตอนการเกิดการรวมตัว.....	11
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า K กับอุณหภูมิ.....	12
2.4 ปริมาณอากาศที่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ณ ความดันบรรยากาศ.....	20
2.5 แสดงผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อความเร็วลอยขึ้น.....	36
3.1 พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์คุณภาพของน้ำ.....	39
4.1 คุณลักษณะน้ำเสียก่อนบำบัด.....	44
ก-1 ผลการศึกษาค่าการกระจายตัวของของแข็งแขวนลอยของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ที่ความดัน 0.3 MPa.....	99
ก-2 ผลการศึกษาค่าการกระจายตัวของของแข็งแขวนลอยของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ที่ความดัน 0.4 MPa.....	102
ก-3 ผลการศึกษาค่าการกระจายตัวของของแข็งแขวนลอยของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ที่ความดัน 0.5 MPa.....	105
ก-4 ผลการศึกษาค่าการกระจายตัวของของแข็งแขวนลอยของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ที่ความดัน 0.6 MPa.....	108
ก-5 ผลการศึกษาค่าการกระจายตัวของของแข็งแขวนลอยของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ที่ความดัน 0.7 MPa.....	111
ก-6 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งที่ความดัน 0.3 MPa.....	114
ก-7 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งที่ความดัน 0.4 MPa.....	115
ก-8 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งที่ความดัน 0.5 MPa.....	116
ก-9 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งที่ความดัน 0.6 MPa.....	117
ก-10 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งที่ความดัน 0.7 MPa.....	118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-11 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิในถังอัดความดันที่เวลาและความดันต่าง ๆ.....	118



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ทฤษฎีของ Double Layer.....	9
2.2 แสดงการเกิดสะพานเชื่อมโพลิเมอร์.....	13
2.3 Dispersed-Air Flotation Unit.....	18
2.4ก แผนผังแสดงระบบลอยตัวด้วยอากาศละลายแบบไม่มีการหมุนเวียน.....	18
2.4ข แผนผังแสดงระบบลอยตัวด้วยอากาศละลายแบบมีการหมุนเวียน.....	19
2.5 ผลของความดันที่มีต่อขนาดของฟองอากาศ.....	23
2.6 การเคลื่อนที่เข้าหากันระหว่างอนุภาคแขวนลอยและฟองอากาศ.....	24
2.7 ผลของอนุภาคที่มีต่อ Single Collector Collision Efficiency.....	26
2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ , กับอัตราการเวียนกลับที่ประสิทธิภาพ ของถึงความดัน 70% และ 90%.....	27
2.9 ความแตกต่างของขนาดและระยะห่างระหว่างฟองอากาศกับอนุภาค ซึ่งทำให้เกิดการชนกัน.....	28
2.10 Geometry of particle bubble interaction.....	29
2.11 Particle attached to a bubble.....	33
2.12 ผลของขนาดอนุภาคต่อความเร็วในการลอยขึ้น.....	35
3.1 แผนผังแสดงกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน.....	38
4.1 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัดด้วย DAF ที่ความดัน ของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ	47
4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดโดย DAF กับ pH เริ่มต้น ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ.....	49
4.3 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัดด้วยDAF ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ.....	51
4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดโดย DAF กับค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้น ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ.....	53
4.5 กราฟแสดงค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำก่อนบำบัดและหลัง การบำบัดด้วยDAF ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ	55
4.6 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดโดย DAF กับค่าของแข็งละลายน้ำเริ่มต้น ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ.....	57

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
4.7 กราฟแสดงค่าซีไอดีของน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัดด้วยDAF ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่างๆ	61
4.8 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดโดย DAF กับค่าซีไอดีเริ่มต้น ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ.....	63
4.9 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่ความดันของการ อัดอากาศค่าต่าง ๆ.....	64
4.10 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัด ด้วยDAF ที่ความดัน 0.3 MPa.....	68
4.11 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัด ด้วยDAF ที่ความดัน 0.4 MPa	72
4.12 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัด ด้วยDAF ที่ความดัน 0.5 MPa	76
4.13 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัด ด้วยDAF ที่ความดัน 0.6 MPa	80
4.14 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัด ด้วยDAF ที่ความดัน 0.7 MPa	84
4.15 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ.....	85
4.16 กราฟแสดงการกำจัดของแข็งแขวนลอยของอนุภาคขนาด มากกว่า 20 ไมครอนที่ความดันต่าง ๆ.....	86
4.17 กราฟแสดงการกำจัดของแข็งแขวนลอยรวมที่ทุกความดัน.....	87
4.18 กราฟแสดงค่าน้ำมันและไขมันของน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัด ด้วย DAF ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่างๆ.....	90
4.19 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดโดย DAF กับค่าน้ำมันและไขมันเริ่มต้น ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ.....	92
4.20 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมันที่ความดันต่าง ๆ.....	93

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์

A	ปริมาตรของอากาศ, ml
A_p	Project Area
a_e	ความเร่ง
C_D	Drag Coefficient
c_r	ปริมาณความเข้มข้นของอากาศที่เกิดขึ้นในถังทำให้ลอย
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค
d_a	ขนาดของฟองอากาศและอนุภาค
d_b	ขนาดของฟองอากาศ
d_p	ขนาดของอนุภาค
D_p	เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค
E	พลังงานศักย์ที่ผิวสัมผัสของอนุภาค
E_A	แรงแวนเดอวาล์ว
E_B	แรงผลักจากประจุไฟฟ้า
f	เศษส่วนของอากาศที่ละลายอยู่ในน้ำ
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, m^2/s
G	ความเร็วเฉลี่ย, s^{-1}
G^0	ความแตกต่างของความเร็วระหว่างของไหล
k	ค่าคงที่
k_b	ค่าคงที่ของ Boltzman (Boltzman 's constant)
m	มวลของอนุภาค, kg
m_e	ค่าการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า
n	จำนวนอนุภาคต่อปริมาตร
N_b	จำนวนฟองอากาศ
N_p	จำนวนอนุภาค
P	กำลังงาน, watt
P	ความดันสัมบูรณ์, atm
P_a	ความดันบรรยากาศ, atm

s	ปริมาตรอากาศที่ปล่อยออกมาจากการลดความดัน, ml/L
s_a	ปริมาณอากาศที่ละลายในของเหลว ณ ความดันบรรยากาศ, ml/L
S	น้ำหนักของอนุภาค, mg
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์ของน้ำ, K
T_b	เวลาที่อนุภาคอยู่ในส่วนแยก
t_{st}	เวลาที่อนุภาคลอยจนกระทั่งมาถึงผิวน้ำ
u_0	ความเร็วเริ่มต้นของอนุภาค
v_{st}	ความเร็วในการลอยตัวขึ้นของฟองอากาศและอนุภาค
V	ปริมาตรของของไหล
y	ประสิทธิภาพการแยก
Z	พลังงานศักย์ที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวเฉือน

อักษรกรีก

η	ค่าความหนืด, kg/ms
η_D	การแพร่
η_l	การดัก
η_s	การตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วง
η_T	total SCCE
η_{TA}	ความเฉื่อย
ϕ_b	ความเข้มข้นเชิงปริมาตรของฟองอากาศ (Bubble Volume Concentration)
α	fraction of efficacious shocks
α_{pb}	ประสิทธิภาพการจับตัวระหว่างฟองอากาศกับอนุภาค
ρ_{sat}	ความหนาแน่นของอากาศอิ่มตัว
ε	Dielectric constant of the medium
ρ_a	ความหนาแน่นของฟองอากาศและอนุภาค, g/cm ³
ρ	ความหนาแน่นของของไหล, kg/m ³
ρ_p	ความหนาแน่นของอนุภาค, kg/m ³
ρ_w	ความหนาแน่นของน้ำ, kg/m ³
ζ	เวลาในการสัมผัส (contact time)
ν	ความหนืด, m ² /s

บทที่ 1

บทนำ

1.1 มวลเหตุจูงใจ

ปัญหามลภาวะทางน้ำเป็นสิ่งที่ควรตระหนักและให้ความสำคัญ เนื่องจากมีผลต่อระบบนิเวศน์ในน้ำรวมทั้งมีผลต่อทัศนียภาพด้วย ส่วนที่มาของการเกิดปัญหามลภาวะทางน้ำนั้น ได้แก่ ชุมชนปล่อยน้ำเสียจากการใช้ในครัวเรือนลงแหล่งน้ำ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาขั้นตอน ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอิเล็กทรอนิกส์โดยนำดิบก่อนเข้ากระบวนการบำบัดประกอบด้วยน้ำเสียจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีทั้งน้ำมันและสารเคมีต่าง ๆ รวมทั้งน้ำทิ้งจากโรงอาหารและห้องน้ำ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียภายในโรงงานประกอบด้วย การบำบัดทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ดังนี้

ขั้นที่หนึ่ง น้ำเสียจะถูกดักด้วยตะแกรงขนาดหยาบ ตะแกรงขนาดละเอียด และบ่อดักไขมัน

ขั้นที่สอง ใช้ขบวนการ Coagulation จับอนุภาคคอลลอยด์และรวมตัวเป็นฟล็อก เกิดเป็นตะกอนโดยใช้สารเคมีช่วย

ขั้นที่สาม บ่อดักตะกอนขั้นแรก (Kurifloator Tank) : ซึ่งใช้ขบวนการทำให้ลอยโดยวิธี Dissolved Air Flotation เพื่อกำจัดตะกอนเบาและน้ำมันที่มีอยู่ในน้ำเสีย จากนั้นกวาดออกบริเวณผิวด้านบนของบ่อ และตะกอนหนักซึ่งตกตะกอนอยู่ด้านล่างของบ่อถูกสูบทิ้งออกไป

ขั้นที่สี่ บ่อบำบัดทางชีวภาพใช้ขบวนการ Activated Sludge โดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายมลพิษในน้ำเสียหลังจากนั้นปล่อยให้ตกตะกอน ในบ่อดักตะกอนขั้นที่ 2 (Sedimentation Tank) เพื่อแยกน้ำใสออกจากตะกอนจุลินทรีย์

ขั้นที่ห้า ใช้ขบวนการกรอง (Filtration) กรองน้ำใสที่ผ่านขบวนการข้างต้นมาแล้วด้วยถังกรองที่บรรจุด้วยหิน กรวดและทราย ก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ในปัจจุบันพบว่า ในกระบวนการทำให้ลอยในบ่อดักตะกอนขั้นแรก (Kurifloator Tank) มีประสิทธิภาพการทำงานที่แตกต่างไปจากที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งกำหนดให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าของแข็งแขวนลอย 85 % (จาก 200 mg/l เหลือ 30 mg/l) บีโอดีและซีโอดี 30% (จาก 150 mg/l และ 700 mg/l เหลือ 105 mg/l และ 490 mg/l ตามลำดับ) และน้ำมันและไขมัน 90%

(จาก 60 mg/l เหลือ 6 mg/l) แต่ผลที่ได้จริงสามารถบำบัดค่าบีโอดีได้สูงกว่าที่กำหนดมากใน ขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยต่ำ (ตารางที่ 1.1 –1.4) ดังนั้นความเข้าใจใน ลักษณะของมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียเป็นสิ่งที่สำคัญ ซึ่งจะนำไปสู่แนวทางในการพัฒนาและ ปรับปรุงระบบให้สามารถบำบัดมลสารชนิดต่างๆได้ตามที่ต้องการ โดยในการศึกษาวิจัยนี้จะมุ่ง เน้นการศึกษาลักษณะของมลสารในน้ำเสียในด้านของการกระจายขนาดของอนุภาคแขวนลอยใน น้ำเสียซึ่งส่งผลต่อการกระจายตัวของดัชนีคุณภาพต่างๆอันได้แก่ ซีโอดี ของแข็งแขวนลอยในน้ำ และน้ำมัน จากนั้นจึงปรับเปลี่ยนสภาวะของการดำเนินการ (ความดันภายในถังอัดความดัน) เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงของการกระจายขนาดอนุภาค ซึ่งจะนำไปสู่ความเข้าใจ ในกลไกของการบำบัดในบ่อบำบัดตะกอนชั้นต้น และได้แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของ การบำบัดต่อไป

ตารางที่ 1.1 ผลการตรวจวัดค่าบีโอดีในน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านบ่อบำบัดตะกอนชั้นแรก แล้ว

วันที่	ค่าบีโอดีในน้ำทิ้ง (mg/l)		ปริมาณที่ลดลง (%)
	ก่อนเข้าระบบ	หลังจากบ่อบำบัดตะกอน ชั้นแรก	
1	82.8	23.8	71.26
2	75.3	24.4	67.60
3	93.6	24.2	74.15
4	155.4	23.1	85.14
5	105.7	20.3	80.79
เฉลี่ย	102.56	23.16	77.42

ตารางที่ 1.2 ผลการตรวจวัดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านบ่อบำบัดตะกอนชั้นแรกแล้ว

วันที่	ค่าซีโอดีในน้ำทิ้ง (mg/l)		ปริมาณที่ลดลง (%)
	ก่อนเข้าระบบ	หลังจากบ่อบำบัดตะกอนชั้นแรก	
1	134.2	95.4	28.91
2	232.5	74.6	67.91
3	205.3	70.9	65.47
4	199.9	77.3	61.33
5	276.1	125.5	54.55
เฉลี่ย	209.6	88.74	57.66

ตารางที่ 1.3 ผลการตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านบ่อบำบัดตะกอนชั้นแรกแล้ว

วันที่	ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง (mg/l)		ปริมาณที่ลดลง (%)
	ก่อนเข้าระบบ	หลังจากบ่อบำบัดตะกอนชั้นแรก	
1	36.67	16	56.37
2	48	26	45.83
3	50	24	52.0
4	76.67	44	42.61
5	64	48	25.0
เฉลี่ย	55.068	31.6	42.62

ตารางที่ 1.4 ผลการตรวจวัดค่าไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านบ่อบำบัด ตะกอนชั้นแรกแล้ว

วันที่	ค่าไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้ง (mg/l)		ปริมาณที่ลดลง (%)
	ก่อนเข้าระบบ	หลังจากบ่อบำบัดตะกอนชั้นแรก	
1	638	312	51.10
2	564	60	89.36
3	530	258	51.32
4	464	106.6	77.03
5	772	62	91.97
เฉลี่ย	593.6	159.72	73.09

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะของมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียของโรงงานอิเล็กทรอนิกส์

1.2.2 ศึกษาผลของความดันในถังอัดความดันที่มีผลต่อการบำบัดมลสารโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของการกระจายขนาดของมลสาร และไหลของมลสารในน้ำเสีย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษากระบวนการทำให้ลอยในบ่อบำบัดตะกอนชั้นต้น (Kurifloator Tank)

1.3.2 ค่าความดันในถังอัดความดัน (Pressure Tank) ที่ใช้ในการวิจัย คือ 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 MPa

1.3.3 ศึกษาผลของความดันต่อการเปลี่ยนแปลงมลสารในน้ำเสีย ได้แก่ การกระจายตัวของของแข็งแขวนลอย ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่าซีไอดี และน้ำมัน

1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาข้อมูลและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำให้ลอย (Flotation)

1.4.2 ศึกษาขั้นตอนการเกิดกระบวนการและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำให้ลอย

1.4.3 ศึกษาผลของความดันต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ของกระบวนการทำให้
ลอยโดยวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 Coagulation and Flocculation

2.1.1 นิยาม

Coagulation หมายถึง ปฏิกริยาและกลไกที่เกี่ยวข้องกับการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคแล้วเกาะรวมตัวเป็นกลุ่มอนุภาคที่มีขนาดใหญ่หรือฟล็อก (การเกาะรวมตัวกับของอนุภาคที่มีขนาด $0.01-1 \mu\text{m}$) และ Coagulant คือสารเคมีที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้เกิดการเกาะรวมตัวกันเกิดเป็น กลุ่มอนุภาคที่มีขนาดใหญ่

Flocculation คือ กระบวนการที่อนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วเกิดการรวมตัวเป็นฟล็อก ที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

2.1.1.1 microflocculation หรือเรียกว่า Perikinetic flocculation

อนุภาคจะชนกันเองระหว่างโมเลกุล หรือถูกชนโดยโมเลกุลของของไหล (คือน้ำเสีย) การเคลื่อนที่นี้มีลักษณะแบบ Brownian ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่อาศัยพลังงานภายในของระบบ ทำให้มีการสัมผัสระหว่างอนุภาคเกิดขึ้น โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานภายนอกช่วย

2.1.1.2 macroflocculation หรือเรียกว่า Orthokinetic flocculation

เป็นการทำให้อนุภาคเกิดการสัมผัสและยึดติดกัน โดยอาศัยการกวนน้ำให้มีอัตราเร็วในการไหลที่แตกต่างกัน ซึ่งในการกวน (mixing) จะกวนแบบช้า ๆ เพื่อมิให้ฟล็อกหลุดหรือแตกขนาดของอนุภาคที่เกิด macroflocculation คือ $1-10 \mu\text{m}$.

2.1.2 ลักษณะของอนุภาคคอลลอยด์ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย

(The Nature of Colloidal Suspensions)

2.1.2.1 เสถียรภาพของคอลลอยด์ที่แขวนลอยในน้ำเสีย

(Stability of Colloidal Suspensions)

อนุภาคคอลลอยด์แต่ละชนิดมีเสถียรภาพไม่เท่ากัน ขึ้นกับขนาดและลักษณะเฉพาะของคอลลอยด์ จากตารางที่ 2.1 แสดงถึงขนาดและชนิดของอนุภาคคอลลอยด์ที่สามารถทำให้รวมตัวและตกตะกอนให้เองในน้ำสูง 1 ม. ที่อุณหภูมิ 20°C ภายใต้แรงโน้มถ่วง

ตารางที่ 2.1 เวลาที่ใช้ในการตกตะกอนของอนุภาคชนิดต่าง ๆ (BRAULT ,1991)

เส้นผ่านศูนย์กลาง			ชนิดของอนุภาค	เวลาที่ใช้ในการตกตะกอนที่ความสูงของน้ำ 1 ม.	พื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตร(Specific Area) $m^2 \cdot m^{-3}$
mm	μm	A°			
10	10^4	10^8	Gravel	1 วินาที	$6 \cdot 10^2$
1	10^3	10^7	Sand	10 วินาที	$6 \cdot 10^3$
10^{-1}	10^2	10^6	Fine sand	2 นาที	$6 \cdot 10^4$
10^{-2}	10	10^5	Clay	2 ชั่วโมง	$6 \cdot 10^5$
10^{-3}	1	10^4	Bacteria	8 วัน	$6 \cdot 10^6$
10^{-4}	10^{-1}	10^3	Colloid	2 ปี	$6 \cdot 10^7$
10^{-5}	10^{-2}	10^2	Colloid	20 ปี	$6 \cdot 10^8$
10^{-6}	10^{-3}	10	Colloid	200 ปี	$6 \cdot 10^9$

จากตารางจะเห็นได้ว่า ยิ่งอนุภาคขนาดเล็กก็ยิ่งใช้เวลามากขึ้นสำหรับการตกตะกอนลงมาปัจจัยสำคัญที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพเป็นสารแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ คือ

- แรงวาน เดอ วาล์ว (Van der Waals attraction) เป็นแรงกระทำอ่อน ๆ ระหว่างอนุภาค (E_A)

- แรงผลักรังจากระจุไฟฟ้า (The electrostatic repulsive force) (E_B)

เสถียรภาพของคอลลอยด์ที่แขวนลอยในน้ำขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่าง แรงดูดและแรงผลักรัง ซึ่งกล่าวได้ว่า $E = E_A + E_B$

ปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะเฉพาะของอนุภาคคอลลอยด์ ได้แก่

1. จำนวนและขนาดของอนุภาค

โดยทั่วไป อนุภาคคอลลอยด์ที่แขวนลอยในน้ำเสีย มีขนาด 0.01- 1.0 μm .

2. รูปร่างและการคืนตัว (Particle Shape & Flexibility)

รูปร่างของอนุภาค อาจจะมีทั้งแบบทรงกลม (Spherical) , กึ่งทรงกลม (Semi-Spherical), วงรี (ellipsoid), ทรงแท่ง, แผ่น (disk) และเหมือนแผ่น (Disklike) รูปร่างของอนุภาคมีผลต่อประจุไฟฟ้าของอนุภาค และแรงสัมผัสระหว่างอนุภาคกับของไหล

3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคกับโมเลกุลน้ำ

สามารถจำแนกอนุภาคคอลลอยด์ในของเหลว ได้แก่

3.1 hydrophobic หรือ water-hating

เป็นแรงอ่อน ๆ ที่ยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำกับคอลลอยด์ ตัวอย่างของอนุภาคชนิดนี้ได้แก่ ดินเหนียว , ทอง และโลหะอื่น ๆ

3.2 hydrophilic หรือ water-loving

เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำกับคอลลอยด์ อนุภาคคอลลอยด์ชนิดนี้จะมีโมเลกุลน้ำห่อหุ้มอยู่ ดังนั้นจึงแยกออกจากน้ำแล้วเกิดฟล็อก ได้ยากกว่าแบบ hydrophobic เพราะโมเลกุลน้ำจะไปขัดขวาง ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เกาะติดกันได้ยากขึ้น

2.1.2.2 ชั้นความหนาของคอลลอยด์ (The double layer)

คอลลอยด์ที่แขวนลอยในน้ำเสีย มักเป็นประจุลบ เพื่อที่จะทำให้พื้นผิวสัมผัสมีสภาพเป็นกลาง และเป็นประจุบวกและจะทำให้เกิดการสร้างชั้นห่อหุ้มล้อมรอบอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการอธิบาย ได้แก่

- ทฤษฎี Helmholtz ชั้นความหนาที่มีคุณสมบัติเป็นประจุบวก ปกคลุมพื้นที่ผิวของคอลลอยด์ และทำให้ชั้นความหนามีสภาพเป็นกลาง (Bound layer)
- ทฤษฎี Gouy-Chapmann ชั้นความหนาที่มีประจุบวก แผ่กระจายรอบ ๆ อนุภาคคอลลอยด์ ทำให้ชั้นความหนามีสภาพเป็นกลาง (Diffuse layer)
- ทฤษฎี Stern เป็นการผสมผสานทฤษฎีของ Helmholtz และ Gouy-Chapmann และนำไปสู่ ชั้นความหนา 2 ชั้น

2.1.2.3 ค่า Zeta potential

คอลลอยด์จะเคลื่อนได้โดยส่วนที่เป็น double layer ชั้นความหนาที่ห่อหุ้มคอลลอยด์นี้ ถือว่าเป็นชั้นความหนาที่นิ่งอยู่กับที่ ตามทฤษฎี Stern ซึ่งจะมีพลังงานศักย์ 2 ชนิดคือ

- พลังงานศักย์ที่ผิวสัมผัสของอนุภาค หรือเรียกว่า Thermodynamic Potential (Nernst, par.8.1.1) ใช้สัญลักษณ์ E
- พลังงานศักย์ที่เกิดขึ้นในบริเวณ Shear Surface หรือเรียกว่า Electrokinetic potential ใช้สัญลักษณ์ Z พลังงานศักย์ Z นี้ คือ Zeta Potential เป็นตัวสำคัญที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของคอลลอยด์และการสัมผัสยึดติดกัน ซึ่งค่า Z เป็นแรงสมดุลระหว่างแรงดูดของประจุไฟฟ้าและแรงเสียดทาน

ความหนืดของตัวกลาง (น้ำเสีย) มีความสัมพันธ์กับ Zeta potential และการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้า ดังแสดงในสมการ 2.1

$$m_e = \frac{\varepsilon Z}{k\eta} \text{----- (2.1)}$$

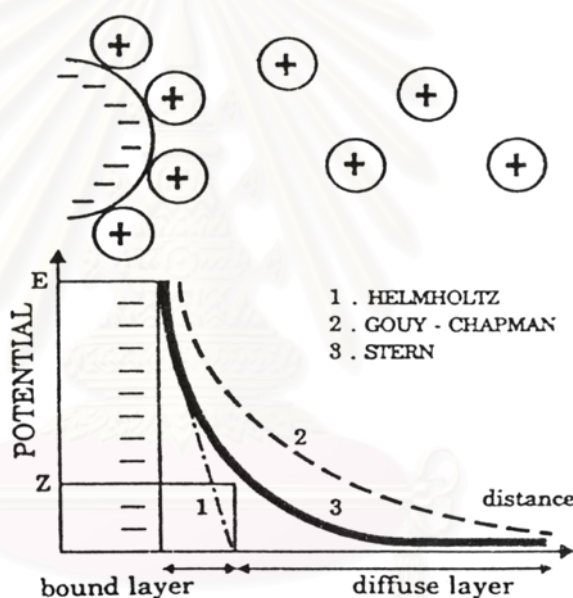
โดย m_e = Electrophoretic mobility ซึ่งเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า

ε = Dielectric constant of the medium ของน้ำเสีย

η = Dynamic viscosity

k = Constant มีค่าเท่ากับ 4

อนุภาคมีพลังงานศักย์ Zeta potential และการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า โดยไม่เกี่ยวข้องกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค จากทฤษฎี Double layer แสดงในรูปที่ 2.1 จะทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ต้องลดค่า Zeta Potential



รูปที่ 2.1 The double layer theory (Brault, 1991)

2.1.2.4 ทฤษฎีทางเคมี (The Chemical theory)

แรงโคเวเลนต์เป็นแรงดึงดูดที่มีค่ามากกว่าแรงดึงดูดทางประจุไฟฟ้า 20-50 เท่า ทฤษฎีทางเคมี (Chemical Theory) มีความสำคัญในแง่การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ซึ่งเกิดการจับกันระหว่างกลุ่มที่มีประจุทางเคมี เช่น hydroxyl , carboxyl , phosphates , sulfate เป็นต้น และประจุของสารเคมีที่เติมลงไปในกระบวนการ Coagulation (Coagulant) ทำให้รวมตัวเป็นฟล็อกที่ใหญ่ขึ้นได้

2.1.3 กลไกการเกิดการเกาะรวมตัวของคอลลอยด์

2.1.3.1 Hydrolysis

เกิดจากการเติมสารเคมี (Coagulant) ลงไปในน้ำเสีย ทำให้เกิดปฏิกิริยา ionization , hydrolysis และ polymerization

2.1.3.2 Coagulation process

เป็นขั้นการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ (Destabilization)

2.1.3.3 Flocculation ซึ่งประกอบด้วย

2.1.3.3 a) Perikinetic Flocculation

ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแพร่ของ Brownian (Brownian Diffusion) ที่เรียกว่าอัตราการเกิดฟล็อก (Floccation rate) หรือการเปลี่ยนแปลงจำนวนอนุภาคต่อเวลาเป็นไปดังสมการที่ 2.2

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\alpha 4kTn^2}{3\eta} \text{-----}(2.2)$$

เมื่อ n = จำนวนอนุภาคต่อปริมาตร

α = Fraction of efficacious shocks

k = Boltzmann Constant

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature)

η = ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute viscosity)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค

Flocculation ในกรณีนี้จะเกิดขึ้นในอนุภาคที่เล็กกว่า 1 μm . เป็นกระบวนการเกิดฟล็อก เล็ก ๆ (microfloc)

2.1.3.3 b) Orthokinetic flocculation

เกี่ยวข้องกับการกระจายพลังงาน ซึ่งประสิทธิภาพในการเกิดฟล็อก ที่มีขนาดใหญ่เป็นไปตามความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{1}{6} \alpha G^0 n^2 d^3 \text{ for laminar flow -----}(2.3)$$

$$-\frac{dn}{dt} = kG^0 n^2 d^3 \quad \text{for turbulent flow -----(2.4)}$$

เมื่อ G^0 เป็นความแตกต่างของความเร็วยว้างของไหลในระบบ Orthogonal plane

$$G^0 = \frac{dv}{dz}$$

กลไกการรวมตัวสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการเกิดการรวมตัว (Brault,1991)

Stage	Factors	Term
ADDITION OF COAGULANT	Reaction with water , ionization, hydrolysis, polymerization	HYDROLYSIS
DESTABILIZATION	Double layer compression	COAGULATION
	Specific absorption of ions from the coagulant on the surface of the particle	
	Specific linkage between ions or species on the surface of the particle	
	Inclusion of the colloid in a hydroxide precipitate	
	Interparticular linking by polymeric species of coagulant	
TRANSPORT	Brownian movement	PERIKINETIC FLOCCULATION
	Dissipated energy (velocity gradient)	ORTHOKINETIC FLOCCULATION

2.1.4 ผลของความเร็วจนและเวลาที่มีต่อการเกาะรวมตัว

2.1.4.1 นิยาม ความเร็ว (Velocity Gradient) , G

$$G = \sqrt{\frac{P}{V\eta}} = K \sqrt{\frac{P}{V}} \quad \text{-----(2.5)}$$

เมื่อ G = ความเร็วเฉื่อย (s^{-1})

P = กำลังงานที่กระจาย ($m^2 \cdot kg/s^3$), (w)

η = ความหนืด (kg/ms)

V = ปริมาตรของของไหล (m^3)

K = ค่าคงที่ Characteristic of cohesion of the sludge

ค่า G แปรผันตามอุณหภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า K กับอุณหภูมิ

อุณหภูมิ °C	K
0	23.6
5	25.6
10	27.6
15	29.6
20	31.5
30	35.4
40	38.9

ความเร็วเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อโอกาสที่อนุภาคจะมาพบกัน อย่างไรก็ตาม ความเร็ว (G) ต้องมีค่าไม่สูงเกินไป โดยความเร็วที่เหมาะสมในการเกิด Coagulation คือ $400-1000 s^{-1}$, สำหรับกระบวนการ Flocculation ความเร็วควรมีค่าประมาณ $100 s^{-1}$

เวลาเป็นปัจจัยสำคัญต่อกระบวนการ Coagulation และ Flocculation เวลาสำหรับการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง อุณหภูมิ ความเข้มข้นของคอลลอยด์ ตัวยับยั้ง เป็นต้น ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้เขียนในรูปไร้มิติ คือ $G \cdot \zeta$ เมื่อ ζ คือเวลาในการสัมผัส (contact time)

2.1.5 การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ประกอบด้วยกลไกดังต่อไปนี้

2.1.5.1 การทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์

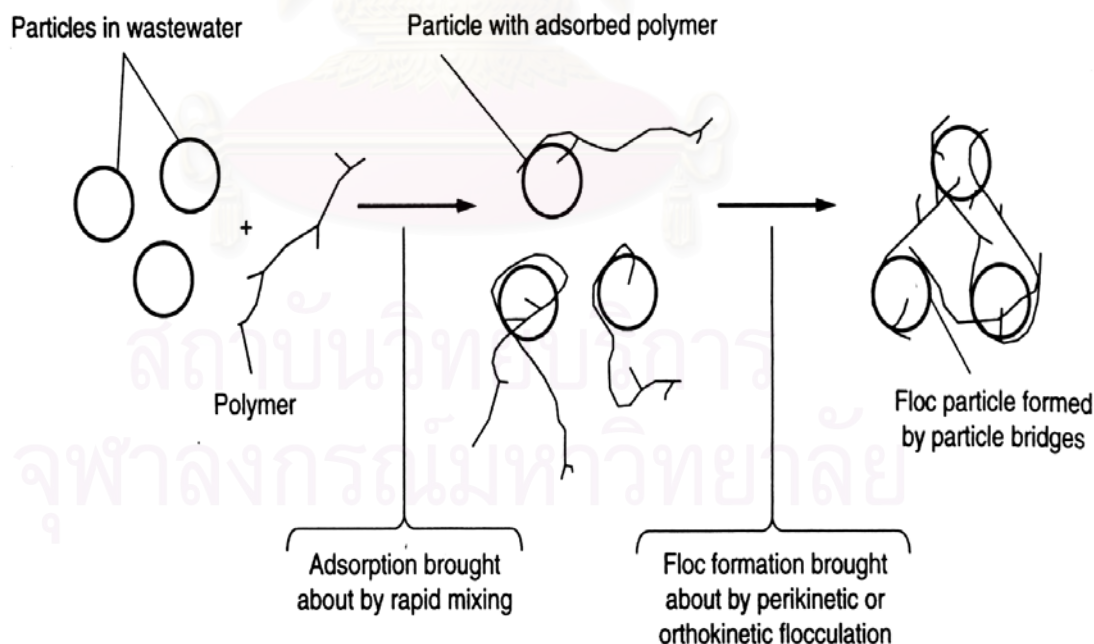
(Charge Neutralization)

สารเคมีที่เติมลงไปจะดูติดกับอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้ประสิทธิภาพของคอลลอยด์ที่แขวนลอยในน้ำเสียลดลง ประจุไฟฟ้าที่พื้นผิวสัมผัสของอนุภาคคอลลอยด์ถูกทำลายลงหรือลดน้อยลง เนื่องจากอนุภาคที่แขวนลอยในน้ำเสียมีประจุไฟฟ้าลบ สารเคมีที่จะเติมลงไปก็ควรมีคุณสมบัติเป็นประจุบวก (Cationic) ในขั้นนี้จะต้องอาศัยการกวน (mixing) เพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์ได้รับการสัมผัสกับสารเคมีที่เติมลงไปได้ดีขึ้น

2.1.5.2 การใช้สารโพลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม

(Polymer Bridge Formation)

สะพานเชื่อมจะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคสอง หรือสามอนุภาคดูติดกันกับโพลิเมอร์เป็นสายหนึ่ง แล้วโพลิเมอร์กับอนุภาคที่ดูติดกันสายหนึ่งมาเชื่อมต่อกันเรื่อย ๆ กลายเป็นกลุ่มฟล็อกเกิดขึ้น โดยอาศัยการกวน (mixing) เพื่อให้สายโพลิเมอร์สัมผัสกับอนุภาคได้มากขึ้น การใช้โพลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดสะพานเชื่อมโพลิเมอร์ (METCALF&EDDY , 2003)

2.1.5.3 การใช้ผลึกสารอินทรีย์ห่อหุ้มอนุภาค (Sweep Coagulation)

โดยเติมสารเคมีบางชนิดลงไป แล้วทำให้เกิดผลึกของสารประกอบ ซึ่งมีลักษณะเหนียวห่อหุ้มอนุภาค มีผลให้อนุภาคกลายเป็นผลึกที่มีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมากขึ้น

2.1.5.4 การลดชั้นความหนาของคอลลอยด์ (Double Layer)

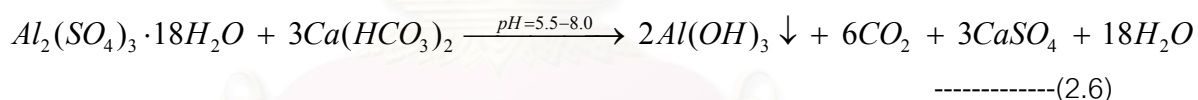
โดยการเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุตรงข้ามกับประจุอนุภาค ทำให้ชั้นความหนาลดลง และค่า Zeta potential ลดลงด้วยเช่นกัน

2.1.6 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ Coagulation และ Flocculation

2.1.6.1 Coagulant ที่นิยมใช้ได้แก่ สารส้ม, Ferric chloride, ปูนขาว, Chlorine, Sodium Aluminate, ต่างและกรด ดังรายละเอียดดังนี้

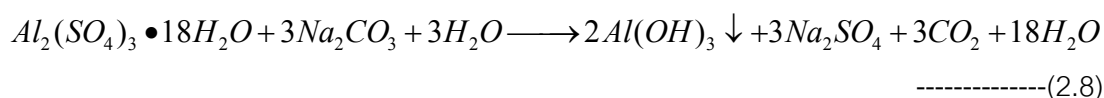
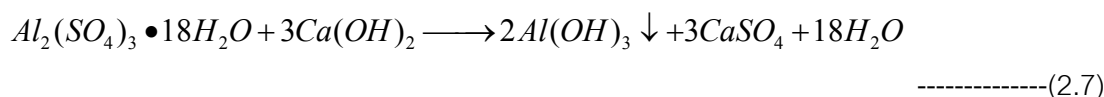
2.1.6.1.1 สารส้ม

สาร Aluminium Sulfate เป็นสารสร้างตะกอนเคมีที่นิยมใช้กันมากที่สุดมีสูตรเคมีคือ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 666.7 จะมีทั้งที่อยู่ในสภาพเป็นก้อน ๆ เป็นผง หรือเป็นของเหลว เมื่อสารส้มทำปฏิกิริยากับน้ำเสียซึ่งถ้ามีสภาพเป็นด่าง (Alkalinity) จะเกิดตะกอนรูปร่างคล้ายหัวเข็มหมุดของ $Al(OH)_3$ (Aluminum Hydroxide) ดังแสดงในสมการที่ 2.6



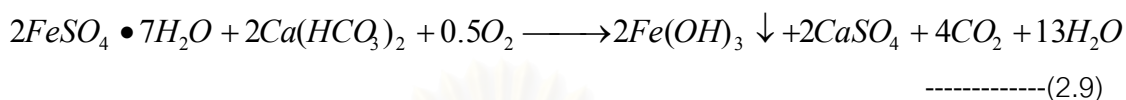
จากสมการที่ 2.6 เมื่อสารส้ม 1 mg/l ผสมกับน้ำเสียจะลดปริมาณด่าง (Alkalinity) 0.5 mg/l ของ $CaCO_3$ และเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ 0.44 mg/l ของ CO_2

ถ้าน้ำเสียไม่มีสภาพด่างอยู่ จำเป็นต้องเติมด่างผสมลงไปเพื่อเพิ่มสภาพด่างในน้ำเสีย เช่นเติมปูนขาว ($Ca(OH)_2$) หรือพวก Soda ash (Na_2CO_3) ดังแสดงในสมการ 2.7 และ 2.8

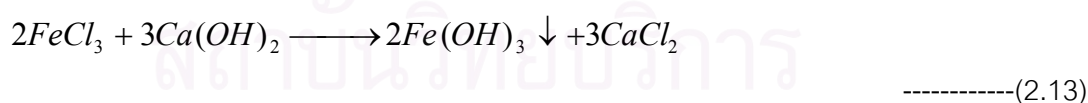
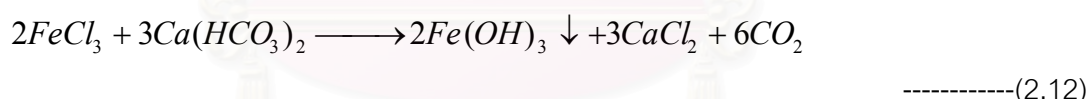
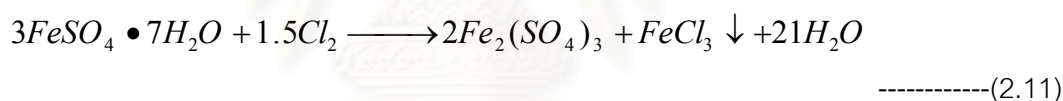


2.1.6.1.2 Ferrous Sulfate

สาร Ferrous Sulfate หรือเรียกว่า Copperas มีลักษณะผลึกสีเขียวแห้ง สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำเสี้ยวที่มีสภาพต่าง (Alkalinity) ได้ แต่ค่อนข้างช้ามากทำให้จำเป็นที่ควรใช้ปูนขาวเติมผสมลงมาเพื่อเพิ่มค่า pH ขึ้นจนเกิดตะกอนของ Ferric Hydroxide ดังแสดงในสมการ 2.9 และ 2.10



ถ้านำสาร Ferrous Sulfate ผสมกับคลอรีนจะทำให้ได้สาร $Fe_2(SO_4)_3$ และสาร $FeCl_3$ หลังจากนั้นจึงนำไปผสมกับน้ำเสี้ยวที่มีสภาพต่างอยู่แล้วหรือมีปูนขาวผสมลงไปช่วยเพื่อเพิ่มค่าสภาพต่างซึ่งจะได้ตะกอนของ Ferric Hydroxide ดังแสดงในสมการ 2.11 ถึง 2.13



2.1.6.1.3 Ferric Salts

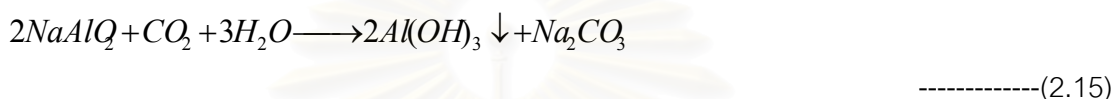
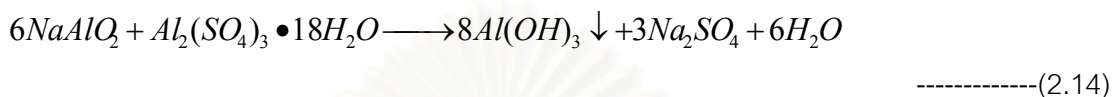
สาร Ferric Salts ที่นิยมใช้ทั่วไปคือ สาร Ferric Sulfate และสาร Ferric Chloride ซึ่งเป็นสารสร้างตะกอนเคมี ดังแสดงสมการไว้แล้วในสมการ 2.12 และ 2.13 ข้อดีของสาร Ferric Salts มีดังต่อไปนี้

- ก) สามารถสร้างรวมตะกอนเคมีได้ดีในช่วง pH 4 ถึง 9
- ข) ตะกอนเคมีของ Ferric จะมีน้ำหนักมากพอสมควรทำให้มีการตกตะกอนได้ดี

ค) สามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้พอสมควร

2.1.6.1.4 Sodium Aluminate

สาร Sodium Aluminate เป็นสารที่อาจใช้ผสมกับสารส้มหรือ ผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเกิดตะกอนของ Aluminium Hydroxide โดยไม่ต้องใช้ปูนขาวหรืออื่น ๆ เพื่อเพิ่มค่าสภาพด่างในน้ำเสียดังแสดงในสมการ 2.14 และ 2.15



2.1.6.1.5 ด่างและกรด

พวกด่างและกรดเป็นสารเคมีที่ช่วยในการปรับ pH ให้ได้ค่า pH ที่อยู่ในช่วงเหมาะสมสำหรับกระบวนการสร้างรวมตะกอนเคมี พวกด่างได้แก่ ปูนขาว, NaOH, Na_2CO_3 เป็นต้น พวกกรดได้แก่ กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก เป็นต้น ซึ่งจัดอยู่เป็นสารช่วยสร้างตะกอน

2.1.6.2 Flocculant ที่นิยมใช้ได้แก่ Polyelectrolyte , Activated silica, ดินเหนียว ดังรายละเอียดดังนี้

2.1.6.2.1 Polyelectrolytes

สาร Polyelectrolytes จะมีอยู่สามลักษณะคือ สารที่มีประจุลบคือ สาร Anionic Polyelectrolytes สารที่มีประจุบวกคือสาร Cationic Polymers และสารที่มีทั้งประจุลบและบวกคือ Polyamphotytes สาร Polyelectrolytes ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดตะกอนเคมีได้เร็ว โดยอาศัยการดูดซับ (Adsorption) การสะเทิน (Neutralization) และการเชื่อมต่อกัน (Interparticle Bridging) ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนอีกสารหนึ่ง

2.1.6.2.2 Activated Silica

พวก Activated Silica มีคุณสมบัติเป็นประจุลบ (-) ทำหน้าที่ช่วยให้ตะกอนที่ถูกสารสร้างตะกอนเคมีรวบรวมมีขนาดใหญ่กว่าเมื่อไม่ใช้พวก Activated Silica เพราะพวก Activated Silica ไปเกาะติดกับพวกโลหะไฮดรอกไซด์ ทำให้ตะกอนมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น สาร Activated Silica ยังช่วยลดปริมาณการใช้ของสารสร้างตะกอนลงด้วยซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนอีกสารหนึ่ง

2.1.6.2.3 ดินเหนียว

ดินเหนียวเป็นตัวช่วยเพิ่มน้ำหนักของตะกอนขุ่น (Floc) ที่ได้ใช้สารสร้างตะกอนเคมีซึ่งส่งผลให้มีการตกตะกอนได้เร็ว ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนอีกสารหนึ่ง

2.2 กระบวนการทำให้ตะกอนลอย (Flotation)

2.2.1 นิยาม

กระบวนการทำให้ลอย (Flotation) หมายถึงกระบวนการที่ใช้แยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวโดยใช้ฟองอากาศเล็ก ๆ อัดเข้าสู่ระบบ ฟองอากาศจะจับติดอนุภาคคอลลอยด์ แรงลอยตัวที่เชื่อมโยงระหว่างอนุภาคกับฟองอากาศเกิดขึ้นมากสามารถพาอนุภาคลอยขึ้นสูผิวหน้า มีผลให้อนุภาคที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำรวมทั้งอนุภาคที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ เช่น น้ำมันที่แขวนลอยในน้ำ เป็นต้น ลอยขึ้นสู่บริเวณชั้นบนผิวน้ำจากนั้นกวาดตะกอนหรือสารแขวนลอยออกจากผิวน้ำ

ในขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย กระบวนการทำให้ลอย (Flotation) เป็นกระบวนการหลักที่ใช้กำจัดอนุภาคแขวนลอยและพวกของแข็งชีวภาพ (Biosolid) ออกจากน้ำเสีย

ประเภทของกระบวนการทำให้ลอย (Type of Flotation System) กระบวนการทำให้ลอยสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

2.2.2 การลอยตัวโดยใช้การกระจายตัวของอากาศ (Dispersed-Air Flotation)

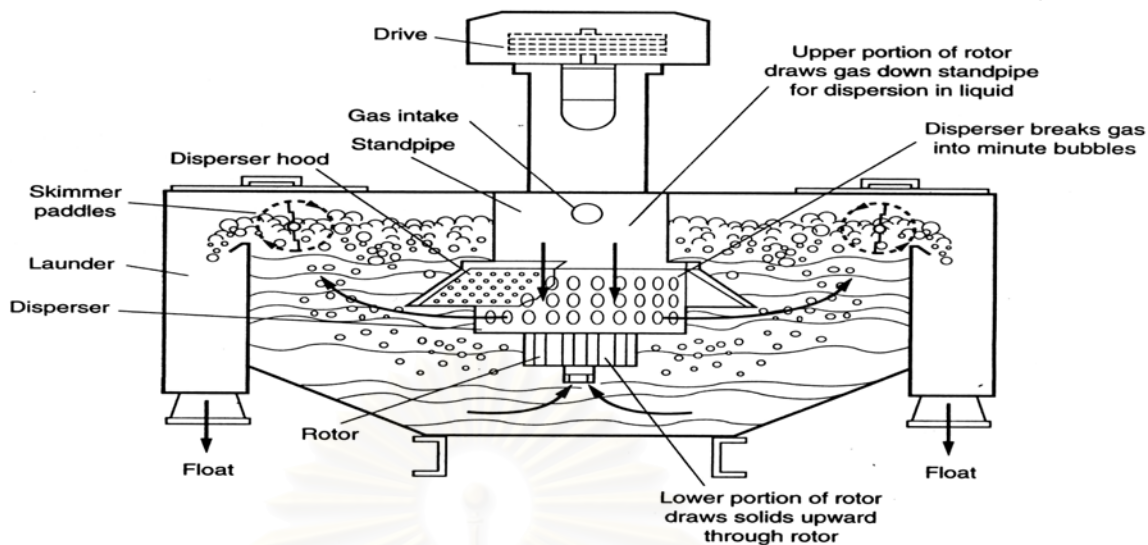
บางครั้งสามารถเรียกว่า Induced-Air Flotation ซึ่งวิธีนี้เป็นการเติมอากาศในน้ำเสียโดยตรงภายใต้ความดันบรรยากาศ ฟองอากาศจากการเติมอากาศจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 mm. พาน้ำมันและของแข็งแขวนลอยต่าง ๆ ลอยขึ้นสูผิวหน้า จากนั้นพวกตะกอนที่ลอยขึ้นมาจะถูกกวาดทิ้งออกจากระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

ข้อดีของระบบ Dispersed-Air Flotation ได้แก่

- เป็นระบบที่ใช้พื้นที่น้อย
- ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบต่ำ

ข้อเสียของระบบ Dispersed-Air Flotation ได้แก่

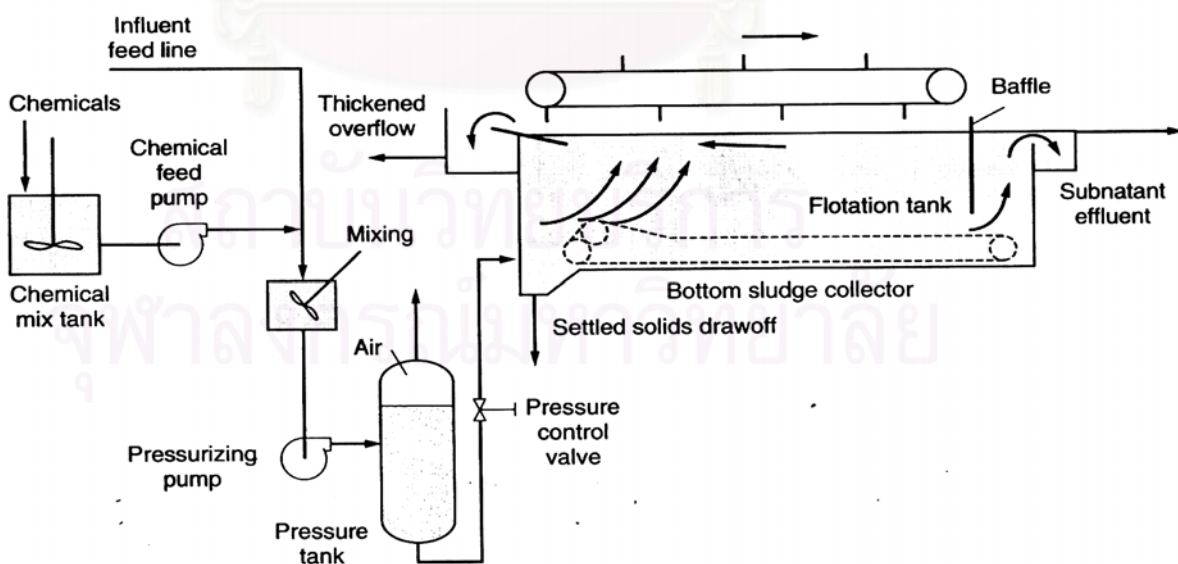
- ต้องใช้พลังงานจากอุปกรณ์ประเภท Hydraulic มาก
- ประสิทธิภาพในการเกิดฟล็อก ต่ำเมื่อเทียบกับวิธี Dissolved-Air Flotation



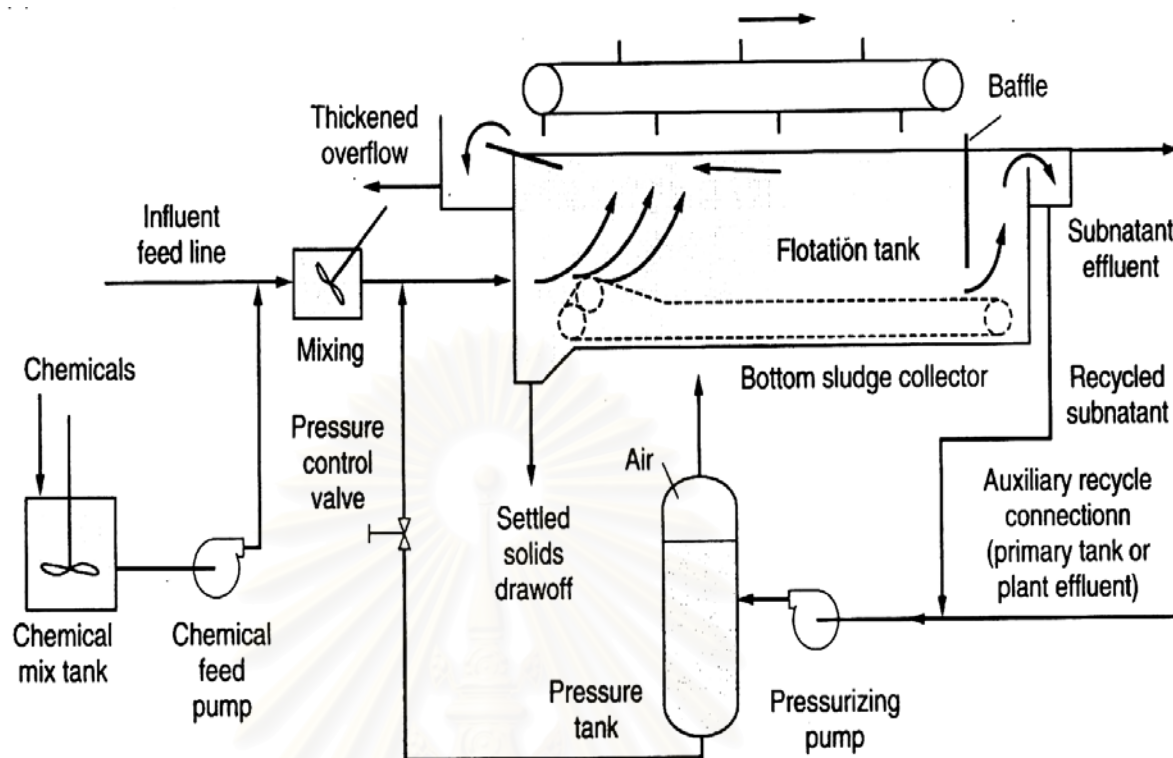
รูปที่ 2.3 Dispersed-Air Flotation Unit. Air is induced and dispersed into the liquid by pumping action of the inductor (Courtesy Eimco)

2.2.3 การลอยตัวโดยการใช้อากาศละลายในน้ำ (Dissolved-Air Flotation, DAF)

เป็นระบบที่นิยมใช้ในปัจุบัน มีหลักการคืออากาศจะถูกละลายในน้ำเสียภายใต้ความดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศ จากนั้นลดความดันลงให้เท่ากับความดันบรรยากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศพาอนุภาคแขวนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ระบบ DAF สามารถแบ่งได้เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนและระบบที่ไม่มีการหมุนเวียน ดังแสดงในรูปที่ 2.4ก และ 2.4ข



รูปที่ 2.4ก แผนผังแสดงระบบลอยตัวด้วยอากาศละลายแบบไม่มีการหมุนเวียน (METCALF & EDDY , 2003)



รูปที่ 2.4ข แผนผังแสดงระบบลอยตัวด้วยอากาศละลายแบบมีการหมุนเวียน (METCALF & EDDY, 2003)

2.2.3.1 ระบบการลอยตัวด้วยอากาศละลายแบบไม่มีการหมุนเวียน

(Dissolved — air Flotation Without Recycle)

ความดันภายในถังความดันมีประมาณ 40 – 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งให้เวลาเก็บกักของน้ำในถังความดันประมาณ 2 – 4 นาที เพื่อปล่อยให้อากาศละลายอยู่ในน้ำ หลังจากนั้นปล่อยน้ำออกจากถังความดันไปยัง Flotation Tank โดยมี back pressure valve เพื่อควบคุมความดันน้ำที่ไหลเข้าสู่ Flotation Tank ซึ่งมีฟองอากาศจำนวนมากลอยอยู่ที่ผิว ระบบนี้ นิยมใช้กับน้ำที่มีตะกอนชนิดไม่แตก

2.2.3.2 ระบบการลอยตัวด้วยอากาศละลายแบบมีการหมุนเวียน

(Dissolved Air Flotation With Recycle)

ระบบการลอยตัวแบบนี้จะมีการนำน้ำจาก Flotation Tank ส่วนหนึ่งหมุนเวียนไปยังถังความดัน หลังจากนั้นปล่อยน้ำออกจากถังความดันไปรวมกับน้ำเสียที่จะเข้าสู่ Flotation Tank ระบบมีการหมุนเวียนนี้จะนิยมใช้กับน้ำเสียที่ตะกอนชนิดเปราะแตกง่าย ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะให้น้ำเสียไหลเข้าสู่ถังความดันโดยตรง

ในกระบวนการทำให้ตะกอนลอยโดยวิธี Dissolved Air Flotation ซึ่งมีการให้อากาศละลายในน้ำ ภายใต้อุณหภูมิและความดันที่มากกว่าความดันบรรยากาศ จากนั้นจึงลดความดันลงจนถึงความดันบรรยากาศ อากาศที่ละลายในน้ำจะแปรผันตรงกับความดัน (ตาม Henry's Law) โดยปริมาณอากาศที่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ณ ความดันบรรยากาศมีความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณอากาศที่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ณ ความดันบรรยากาศ (1 atm)
(Eckenfelder , 1989)

Temperature		Volume Solubility		Weight Solubility		Density	
°C	°F	ml / l	CF/thousand gal	mg/l	lb/thousand gal	g/l	lb/CF
0	32	28.8	3.86	37.2	0.311	1.2930	0.0808
10	50	23.5	3.15	29.3	0.245	1.2490	0.0779
20	68	20.1	2.70	24.3	0.203	1.2060	0.0752
30	86	17.9	2.40	20.9	0.175	1.1660	0.0727
40	104	16.4	2.20	18.5	0.155	1.1300	0.0704
50	122	15.6	2.09	17.0	0.142	1.0930	0.0682
60	140	15.0	2.01	15.9	0.133	1.0610	0.0662
70	158	14.9	2.00	15.3	0.128	1.0300	0.0643
80	176	15.0	2.01	15.0	0.125	1.0000	0.0625
90	194	15.3	2.05	14.9	0.124	0.9740	0.0607
100	212	15.9	2.13	15.0	0.125	0.9490	0.0591

เมื่อลดความดันของน้ำลงสู่สภาวะความดันบรรยากาศ ปริมาณอากาศที่ละลายในน้ำจะลดลง ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.16

$$S = s_a \left(\frac{P}{P_a} \right) - s_a \quad \text{-----}(2.16)$$

เมื่อ S = ปริมาตรอากาศที่ปล่อยออกมาจากการลดความดันมาที่ ณ ความดันบรรยากาศต่อ

ปริมาตรของเหลว (ml/l)

s_a = ปริมาณอากาศที่ละลายในของเหลวที่ความดันบรรยากาศ (ml/l)

P_a = ความดันบรรยากาศ

P = ความดันสัมบูรณ์

ปริมาณอากาศที่ละลายในน้ำจะขึ้นกับความดันที่ความดันบรรยากาศ สถานะที่ความดันลดลงและขึ้นอยู่กับความอิ่มตัวที่ได้จากระบบอัดอากาศ แต่เนื่องจากความสามารถในการละลายของอากาศในน้ำเสียน้อยกว่าในน้ำสะอาด ดังนั้นจึงมีการปรับแก้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.17

$$s = s_a \left(\frac{fP}{P_a} \right) - s_a \quad \text{-----}(2.17)$$

เมื่อ f = เศษส่วนของอากาศที่ละลายอยู่ในน้ำ ณ ความดันเท่ากับ P โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.5

หลักการสำคัญของกระบวนการ Dissolved Air Flotation คือ อัตราส่วนของปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในระบบกับความเข้มข้นของตะกอนในน้ำเสีย (A/S ratio) โดยปริมาณอากาศหรือฟองอากาศที่ปล่อยลงในน้ำเสีย ต้องมีปริมาณเหมาะสมกับความเข้มข้นของตะกอนซึ่งความสัมพันธ์แทนด้วยสมการที่ 2.18

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3s_a (fP - 1)}{S_a} \quad \text{-----}(2.18)$$

เมื่อ $\frac{A}{S}$ = Air to Solid Ratio, ml(air)/mg(solids)

s_a = Air solubility , ml/l

f = fraction of air dissolved at pressure P , usually 0.5

P = Pressure, atm

$$= \frac{p + 101.35}{101.35} \quad (\text{SI units})$$

$$= \frac{p + 14.7}{14.7} \quad (\text{U.S. customary units})$$

p = gauge pressure , kPa (lb/in² gauge)

S_a = influent suspended solid, g/m^3 (mg/l)

Temp., °C	0	10	20	30
s_a , ml/l	29.2	22.8	18.7	15.7

สำหรับสมการแสดงความสัมพันธ์ของระบบ DAF ที่มีการหมุนเวียน ดังสมการที่ 2.19

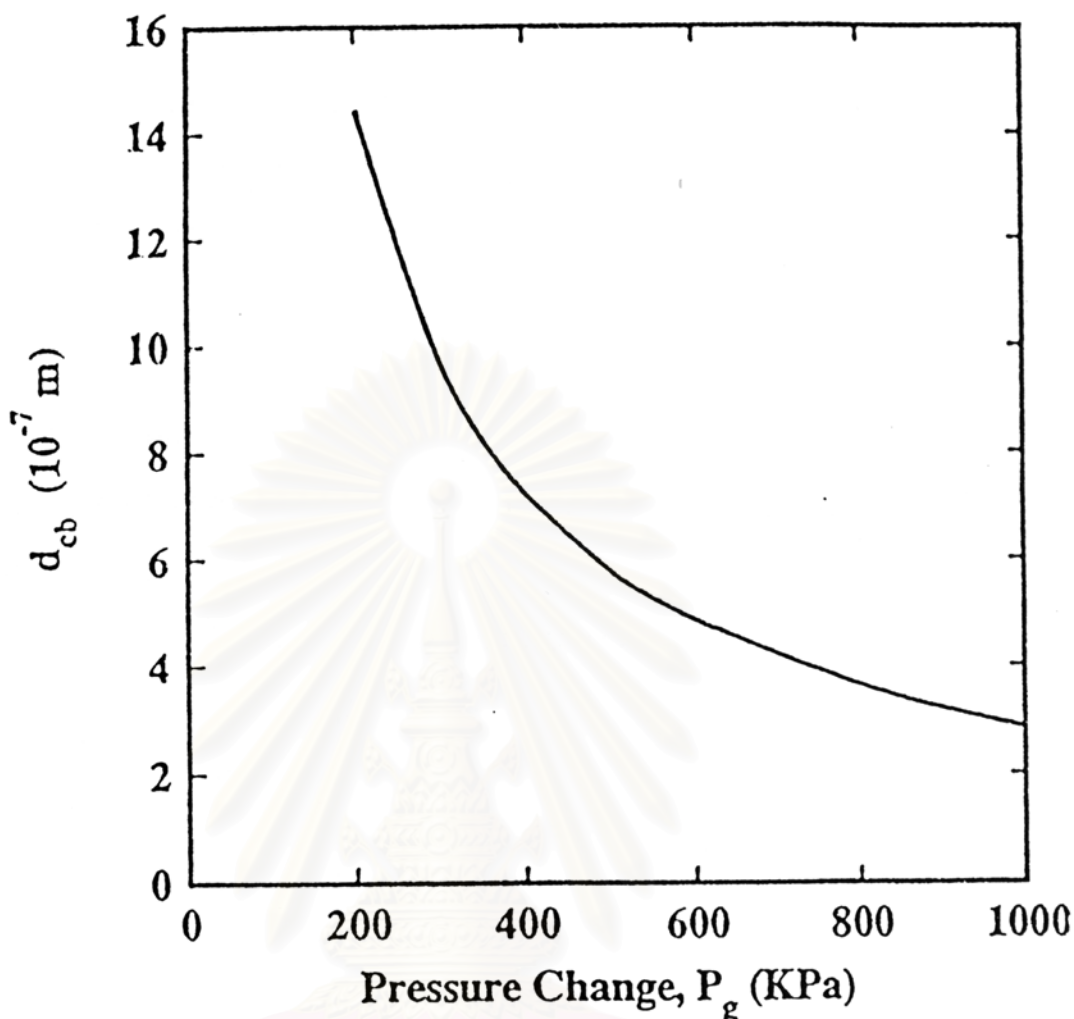
$$\frac{A}{S} = \frac{1.3s_a(fP-1)R}{S_aQ} \quad \text{-----}(2.19)$$

เมื่อ R = pressurized recycle, m^3/day (Mgal/day)

Q = mixed-liquor flow, m^3/day (Mgal/day)

จากสมการที่ 2.18 และ 2.19 ตัวเศษแสดงถึงน้ำหนักของอากาศ, ตัวส่วนแสดงถึงน้ำหนักของของแข็ง, ค่า 1.3 เป็นน้ำหนัก (มิลลิกรัม) ของอากาศในปริมาตร 1 มิลลิลิตร และค่า -1 แสดงถึงระบบที่เกิดภายใต้ความดันบรรยากาศ

การเติมอากาศที่มากเกินไปและฟองอากาศที่มีขนาดเล็ก จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ DAF จากการศึกษาวัดขนาดฟองอากาศสำหรับกระบวนการ Dissolved Air Flotation พบว่าขนาดของฟองอากาศจะอยู่ในช่วง 10-100 μm (Takahashi และคณะ, 1979 ; Zabel , 1984 ; De Rijk และ คณะ , 1994) และโดยเฉลี่ยแล้วจะมีขนาดประมาณ 30-40 μm ขนาดของฟองอากาศนี้จะขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้และชนิดของ Nozzle ความดันที่สูงขึ้นจะทำให้ขนาดฟองอากาศเล็กลง ดังแสดงในรูปที่ 2.5, จากการศึกษาค่าความดันที่มีผลต่อขนาดฟองอากาศใน DAF ของ Burn และคณะ (1997) พบว่าที่ความดัน 0.4, 0.5 และ 0.6 MPa ทำให้เกิดฟองอากาศขนาด 57, 48.24 และ 48 ไมครอน ตามลำดับ, De Rijk และคณะ (1994) พบว่าที่ความดันมากกว่า 500 kPa การเพิ่มความดันจะมีผลต่อขนาดของฟองอากาศน้อยมาก



รูปที่ 2.5 ผลของความดันที่มีต่อขนาดของฟองอากาศ (Edzwald, 1995)

สำหรับความดันและค่าอัตราการเวียนกลับที่ใช้ในระบบการ Dissolved Air Flotation ได้มีผู้วิจัยถึงค่าที่เหมาะสม สามารถใช้งานได้ดี อาทิเช่น

Haarhoff & Vuuren (1993,1994) แนะนำให้ใช้ความดันที่ 400 – 600 kPa และอัตราการเวียนกลับ 6-10 %

Edzwald และคณะ (1994) แนะนำให้ใช้ความดันที่ 400 – 550 kPa และ อัตราการเวียนกลับ 5-10 %

Schers & Dijk (1992) แนะนำให้ใช้ความดันที่ 500 – 800 kPa, อัตราการเวียนกลับ 5-10%, ขนาดของฟองอากาศที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 30 – 80 ไมครอน และเวลากักเก็บน้ำเสียในระบบ Dissolved Air Flotation ประมาณ 20 – 30 นาที

2.2.3.3 กลไกการทำงานของกระบวนการ Dissolved Air Flotation ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนสัมผัส (Contact Zone or Reaction Zone) และส่วนแยก (Separation Zone)

2.2.3.3.1 ส่วนที่ 1 ส่วนสัมผัสหรือส่วนปฏิกิริยา

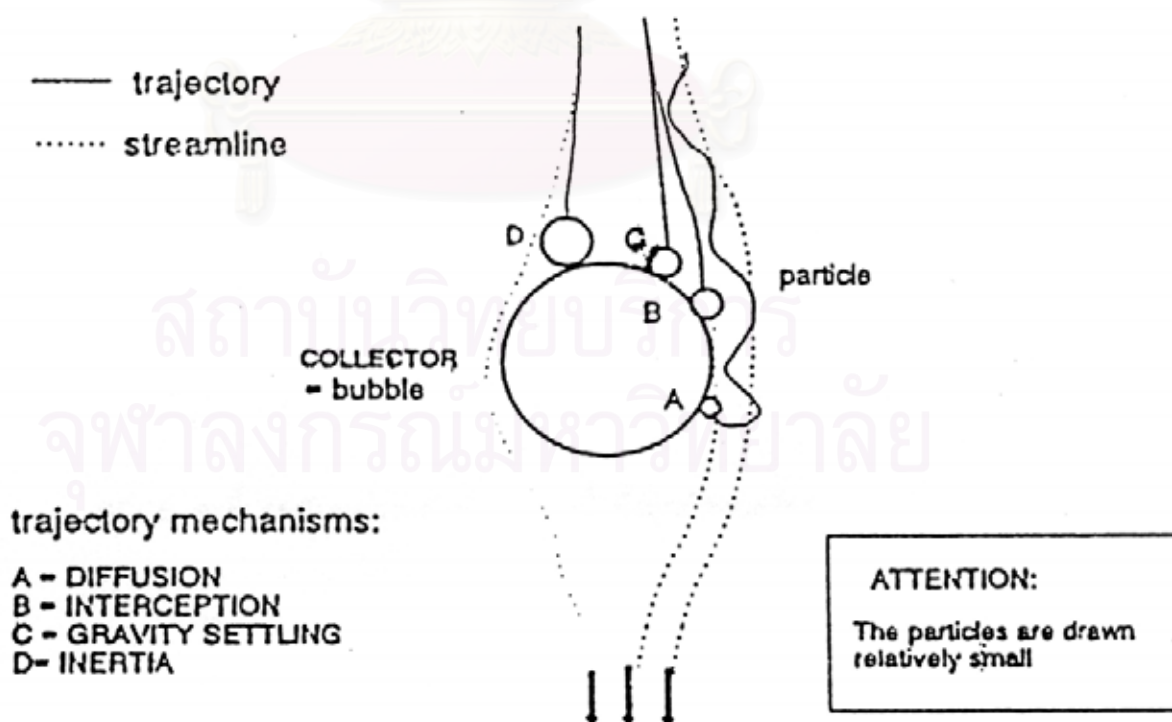
(Contact Zone or Reaction Zone)

ส่วนสัมผัสหรือส่วนปฏิกิริยาเป็นส่วนที่มีการชนกัน และเกาะติดกัน ระหว่างฟองอากาศกับอนุภาค ซึ่ง Edzwald และคณะ (1990) อธิบายทฤษฎีการชนของฟองอากาศและอนุภาคในส่วนของ Contact Zone or Reaction Zone ดังนี้

2.2.3.3.1.1 Single – Collector Collision Efficiency (SCCE , η)

เป็นประสิทธิภาพของการชนกันระหว่าง ฟองอากาศกับอนุภาค ซึ่งถูกกำหนดโดยอัตราส่วนของอัตราการชนกันของฟองอากาศและอนุภาคกับอัตราการเข้าใกล้กันของฟองอากาศและอนุภาค (ดังรูปที่ 2.6) โดยกระบวนการนี้มีกลไกที่เกี่ยวข้องได้แก่

- การแพร่ (Diffusion, η_D) เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคโดยการแพร่แบบสุ่ม (Random Brownian) ของอนุภาคเข้าหาฟองอากาศ
- การดัก (Interception, η_I) เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคและฟองอากาศ กล่าวคือ เมื่ออนุภาคซึ่งเคลื่อนที่ไปตาม Streamline และเคลื่อนที่เข้ามาใกล้พอ จนกระทั่งสามารถเกาะติดไปกับฟองอากาศได้



รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่เข้าหากันระหว่างอนุภาคแขวนลอยและฟองอากาศ (Schers & Dijk , 1992)

- c) การตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วง (Gravity Settling , η_s) เป็นการตกของอนุภาคลงบนฟองอากาศ ฟองอากาศโดยการตกตะกอนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค ทำให้อนุภาคเคลื่อนผ่าน Streamline และเข้าถึงฟองอากาศได้
- d) ความเฉื่อย (Inertia , η_{TA}) เกิดการชนกันเนื่องจากแรงเฉื่อยของอนุภาคซึ่งไม่สามารถเคลื่อนไปตาม Streamline ได้เนื่องจากน้ำหนักของอนุภาคเอง

Single—Collector Collision Efficiency (SCCE) จะขึ้นกับกลไกทั้งสิ้นแบบตามสมการ 2.20 ถึงสมการที่ 2.24

$$\eta_D = 6.18(k_b T / g \rho_w)^{2/3} (1/d_p)^{2/3} (1/d_b)^2 \text{-----}(2.20)$$

$$\eta_T = \frac{3}{2}(d_p / d_b)^2 \text{-----}(2.21)$$

$$\eta_s = \frac{\rho_p - \rho_w}{\rho_w} (d_p / d_b)^2 \text{-----}(2.22)$$

$$\eta_{TA} = \frac{g \rho_p d_b d_p^2}{324 \nu^2 \rho_w} \text{-----}(2.23)$$

$$\eta_T = \eta_D + \eta_T + \eta_s + \eta_{TA} \text{-----}(2.24)$$

โดย η_T = Total Single – Collector Collision Efficiency

k_b = Boltzman 's constant = $1.38 * 10^{-23}$ จูล / องศาเคลวิน

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของน้ำ (องศาเคลวิน)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (9.81 m/s^2)

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

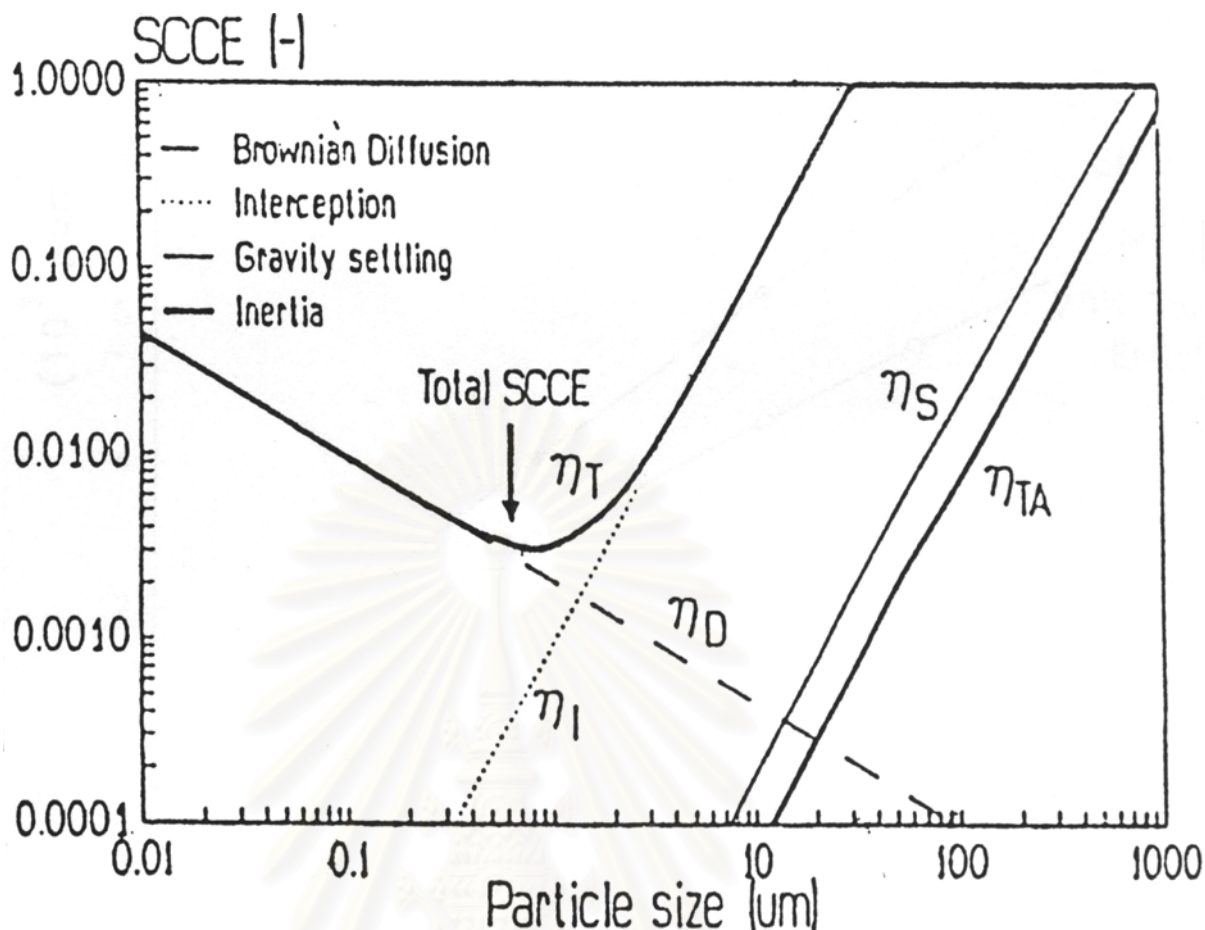
d_p = ขนาดของอนุภาค (m)

d_b = ขนาดของฟองอากาศ (m)

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค (kg/m^3)

ν = ความหนืดของน้ำ (m^2 / s)

จะเห็นได้ว่าขนาดของอนุภาคมีผลต่อ Single—Collector Collision Efficiency ดังแสดงในรูปที่ 2.7



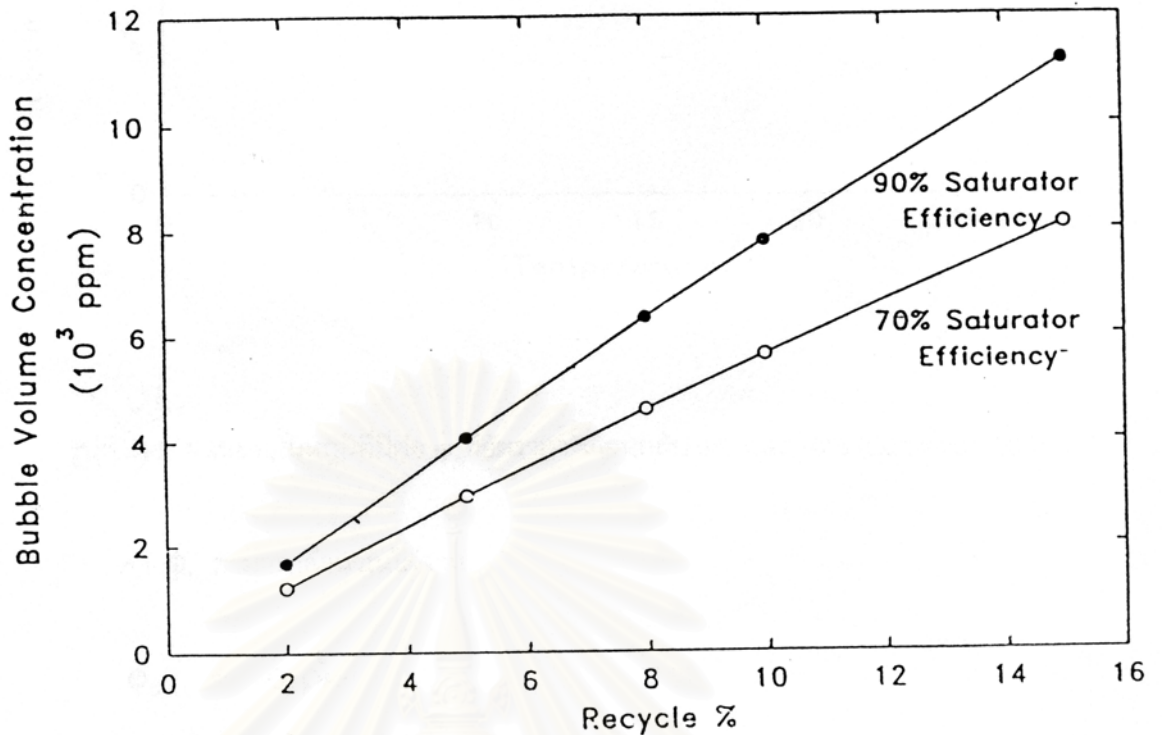
รูปที่ 2.7 ผลของอนุภาคที่มีต่อ Single-Collector Collision Efficiency (Schers & Dijk, 1992)

2.2.3.3.1.2 Bubble-Particle Attachment Efficiency (α_{pb})

เป็นการเกิดการชนกันระหว่างฟองอากาศ กับอนุภาคเป็นผลทำให้เกิดการเกาะติดกันอย่างถาวร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาต่อกันระหว่างอนุภาคและฟองอากาศ โดยที่การชนกันที่มีประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าระหว่างฟองอากาศกับอนุภาค และชั้นของน้ำ (water bound layer) ที่ล้อมรอบอยู่

2.2.3.3.1.3 Bubble Volume Concentration (ϕ_b)

เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณของฟองอากาศ ที่เกิดขึ้นในถังทำให้ลอย (flotation tank), ϕ_b สามารถปรับหรือควบคุมได้ โดยความดันที่ใช้ในการอัดอากาศ (saturation pressure) หรืออัตราส่วนการเวียนน้ำกลับมาอัดอากาศ (recycle ratio) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ_b กับอัตราการเวียนกลับ ที่ประสิทธิภาพของถังความดัน 70% และ 90% (Edwald, 1993)

ค่า ϕ_b สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.25

$$\phi_b = \frac{C_r}{\rho_{sat}} \quad \text{-----}(2.25)$$

โดย C_r = ปริมาณความเข้มข้นของอากาศที่เกิดขึ้นในถังทำให้ลอย (flotation tank)

ρ_{sat} = ความหนาแน่นของอากาศอิ่มตัวมีค่าประมาณ 1.17 mg./cm^3 ที่อุณหภูมิ 20°C

2.2.3.3.1.4 Bubble-Filter Efficiency (BFE)

BFE เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกค่าหนึ่ง โดยแสดงถึงส่วนของอนุภาคที่จะถูกกำจัดออกโดยฟองอากาศ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ 2.26

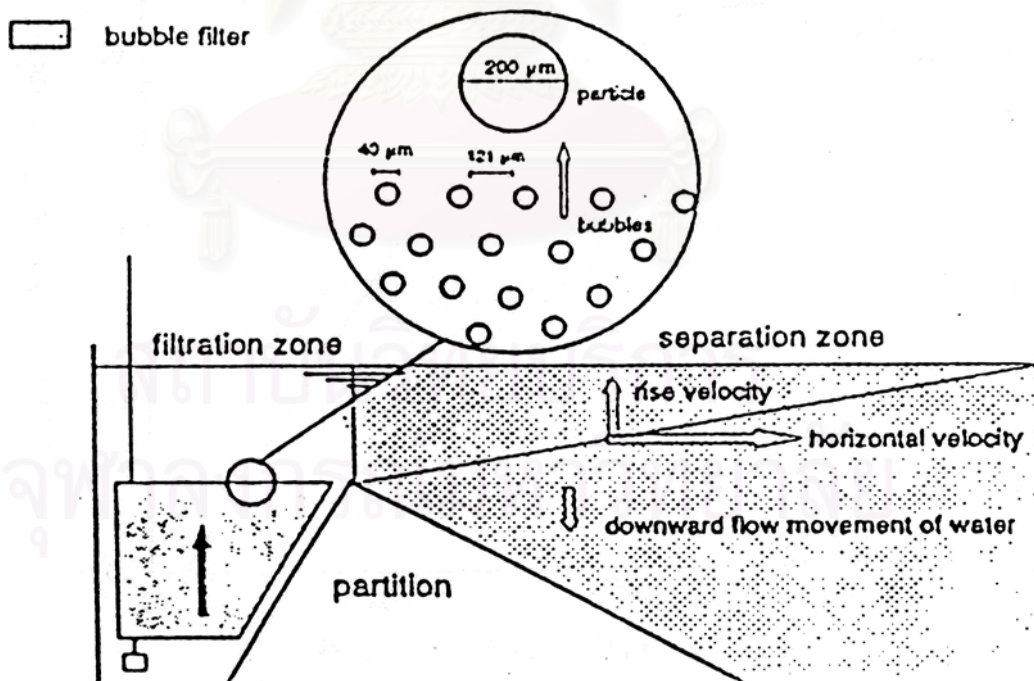
$$BFE = 1 - \frac{\exp(-\alpha_{pb} \eta_T d_b \phi_b g T)}{12\nu} \quad \text{-----}(2.26)$$

- โดย α_{pb} = bubble-particle attachment efficiency
 η_T = total SCCE
 d_b = ขนาดของฟองอากาศ
 ϕ_b = bubble volume concentration
 g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง
 T = เวลาสัมผัสทั้งหมด (contact time)
 v = ความหนืดของน้ำ

ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยกระบวนการทำให้ลอยตัวด้วยอากาศที่ละลายน้ำหรือ DAF ซึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หรือกลไกต่าง ๆ และกระบวนการ DAF จะเกิดเมื่อมีการชนกันระหว่างฟองอากาศกับอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งโอกาสของการชนกันดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ดีต้องประกอบด้วย

- จำนวนฟองอากาศ (bubble number concentration, N_b) มีมากกว่าจำนวนของอนุภาค (particle number concentration, N_p)
- ระยะห่างระหว่างฟองอากาศมีระยะน้อยกว่าขนาดของอนุภาค (d_b)

การเกิดการชนกันระหว่างฟองอากาศกับอนุภาค แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความแตกต่างของขนาดและระยะห่างระหว่างฟองอากาศกับอนุภาค ซึ่งทำให้เกิดการชนกัน (Schers & Dijk , 1992)

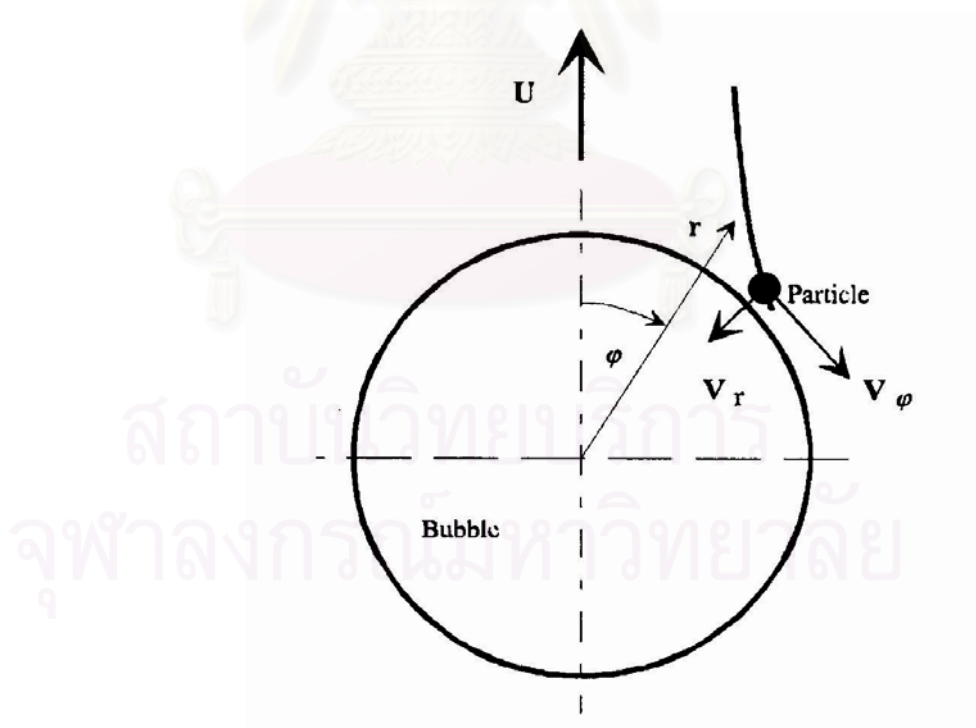
2.2.3.3.1.5 Collision Efficiency (P_c)

ประสิทธิภาพการชน ระหว่างอนุภาคและฟองอากาศแสดง

ในรูปที่ 2.10 สามารถคำนวณหาได้ตามสมการที่ 2.27 (Phan, 2003)

$$P_c = \frac{\int c_p \vec{V} \cdot [-\vec{e}_r 2\pi (R_p + R_b)^2 \sin \varphi d\varphi]}{c_p \pi (R_p + R_b)^2 (V_s + U)} \quad \text{-----}(2.27)$$

- เมื่อ
- c_p = the particle concentration
 - R_b = รัศมีของฟองอากาศ
 - R_p = รัศมีของอนุภาค
 - V_s = the particle settling velocity
 - U = bubble slip velocity
 - \vec{V} = the particle velocity relative to the bubble
 - φ = the polar angle
 - \vec{e}_r = the unit vector of the radial vector e



รูปที่ 2.10 Geometry of particle bubble interaction (Phan, 2003)

โดยความเร็วของอนุภาคหาได้จากสมการ Basset – Boussinesq – Oseen (BBO) ดังแสดงในสมการที่ 2.28 (Phan, 2003)

$$m_p \frac{d\vec{V}}{dt} = m_f \frac{d\vec{W}}{dt} - \frac{m_f}{2} \left\{ \frac{d\vec{V}}{dt} - \frac{d\vec{W}}{dt} \right\} - 6\pi\mu R_p (\vec{V} - \vec{W}) - 6R_p^2 \sqrt{\pi\delta\mu} \int_0^t \left\{ \frac{d\vec{V}}{dt} - \frac{d\vec{W}}{dt} \right\}_{t=s} \frac{ds}{\sqrt{t-s}} + (m_p - m_f) \vec{g}$$

----- (2.28)

จากสมการ BBO สามารถลดรูปได้ตามสมการ 2.29 (Phan, 2003)

$$\frac{d\vec{v}}{d\tau} - K \frac{d\vec{w}}{d\tau} + \vec{v} - \vec{w} + \sqrt{\frac{3K}{\pi}} \int_0^\tau \left(\frac{d\vec{v}}{ds} - \frac{d\vec{w}}{ds} \right)_{\tau=s} * \frac{ds}{\sqrt{\tau-s}} - v_g = 0$$

----- (2.29)

เมื่อ

$$K = \frac{3\delta}{2\rho + \delta}$$

$$\tau = t \frac{9\mu}{2R_p^2 (\rho + \delta/2)}$$

แก้สมการได้ความเร็วของอนุภาคตามสมการ 2.30 (Phan, 2003)

$$\vec{v}_{(\tau)} = \frac{2}{\sqrt{12K - 9K^2}} \int_0^\tau \vec{F}(\tau - \xi) * \exp\left[\frac{3K - 2}{2} \xi\right] \sin\left[\sqrt{\frac{12K - 9K^2}{2}} \xi\right] d\xi$$

----- (2.30)

เมื่อ

$$\vec{F}_{(\tau)} = \vec{\phi} + \frac{d\vec{\phi}}{d\tau} - \sqrt{3K/\pi} \int_0^\tau \frac{d\vec{\phi}}{d\xi} \frac{d\xi}{\sqrt{\tau - \xi}}$$

$$\vec{\phi}_{(\tau)} = \vec{w} + \vec{v}_g + K \frac{d\vec{w}}{d\tau} + \sqrt{3K/\pi} \int_0^\tau \frac{d\vec{w}}{d\xi} \frac{d\xi}{\sqrt{\tau - \xi}}$$

2.2.3.3.1.6 การเกาะติด (Attachment)

ประสิทธิภาพการเกาะติดของอนุภาค ขึ้นอยู่กับเวลาในการสัมผัส (Contact Time, $t_{contact}$), เวลาที่ใช้ในการชน (Collision Time, t_c) และเวลาที่ใช้ในการเลื่อนไถล (Sliding Time, t_s) เวลาที่ใช้ในการสัมผัสหาได้จากสมการที่ 2.31

$$t_{contact} = t_f + t_r + t_{TPC} \quad \text{-----}(2.31)$$

- เมื่อ t_f = Thinning of the intervening liquid film to the critical thickness
 t_r = Rupture of the liquid film and formation for three phase contact
 t_{TPC} = Expansion of the three-phase contact to form a stable aggregate

เวลาที่ใช้ในการเลื่อนไถล (t_s) สามารถหาได้โดยใช้สมการ BBO เป็นพื้นฐานหา V_φ ของอนุภาคที่เลื่อนไถล (Sutherland, 1948) ดังแสดงในสมการด้านล่าง

$$V_\varphi = (R_p + R_b) \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{-----}(2.32)$$

และ $V_\varphi = (A \sin \varphi + AB \sin \varphi \cos \varphi) U \quad \text{-----}(2.33)$

- เมื่อ V_φ = the tangential velocity of the sliding particle
 A, B = function particle settling velocity, bubble Reynold number, particle and bubble size (Nguyen, 1999)

หากอินทิเกรตสมการ 2.32 จาก φ_0 ถึง φ จะได้ $t_s(\varphi)$ ตามสมการที่ 2.34 (Sutherland, 1948)

$$t_s(\varphi) = \frac{R_p + R_b}{U(1-B^2)A} \ln \left\{ \frac{\tan(\varphi_0/2)}{\tan(\varphi/2)} * \left[\frac{\csc(\varphi_0) + B \cot(\varphi_0)}{\csc(\varphi) + B \cot(\varphi)} \right]^B \right\} \quad \text{-----}(2.34)$$

เวลาที่ใช้ในการชน (t_c) มีความสัมพันธ์กับ effective mass (m_{eff}) ของอนุภาคที่ชน และ restoring force (F_{res}) ที่ผิวสัมผัสระหว่างก๊าซและของเหลว สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$m_{eff} \frac{d^2 H}{dt^2} + F_{res} - m_p \left(1 - \frac{\delta}{\rho}\right) g = 0 \quad \text{-----(2.35)}$$

เมื่อ H = the depth of the deformed gas-liquid interface at the apex

m_p = มวลของอนุภาค

2.2.3.3.1.7 ความเสถียรและการหลุดจากการเกาะติด

(Stability and Detachment)

แรงสำคัญที่ใช้ในการยึดติดระหว่างอนุภาคกับฟองอากาศ

(Phan, 2003) ประกอบด้วย

- Capillary force (F_c) which act along the tangent to the gas-liquid interface

$$F_c = 2\pi R_p \sigma \sin \alpha \sin(\theta - \alpha) \quad \text{-----(2.36)}$$

- Pressure force (F_p)

$$F_p = \pi R_p^2 H \rho_l g \sin^2 \alpha \quad \text{-----(2.37)}$$

- Buoyancy force (F_b) of the particle volume immersed in the liquid

$$F_b = \frac{\pi R_p^3 \rho_l g}{3} (-2 + 3 \cos \alpha - \cos^3 \alpha) \quad \text{-----(2.38)}$$

- Particle weight (F_g) which pulls the attached particle into the liquid

$$F_g = -\frac{4}{3} \pi R_p^3 \rho_p g \quad \text{-----(2.39)}$$

ในภาวะสมดุล แรงที่กระทำต่ออนุภาคและฟองอากาศ เป็นไปตามสมการ 2.40

$$F_c + F_p + F_b + F_g = 0 \quad \text{-----(2.40)}$$

แทนค่าแรงต่าง ๆ ได้ตั้งสมการที่ 2.41

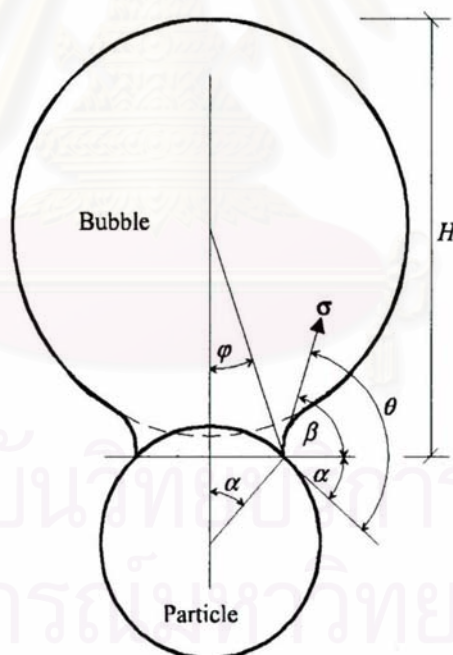
$$2\pi R_p \sigma \sin \alpha \sin(\theta - \alpha) + \pi R_p^2 H \rho_l g \sin^2 \alpha - \frac{\pi R_p^3 \rho_l g}{3} (2 - 3 \cos \alpha + \cos^3 \alpha) = \frac{4}{3} \pi R_p^3 g \Delta \rho \quad \text{-----(2.41)}$$

- เมื่อ ρ_ℓ = liquid density
 ρ_p = particle density
 $\Delta\rho = \rho_p - \rho_\ell$
 σ = gas-liquid interfacial tension

นอกจากแรงที่กล่าวมาข้างต้น ขนาดของฟองอากาศก็มีผลต่อแรงยึดติดระหว่างอนุภาคกับฟองอากาศแสดงดังรูปที่ 2.11 และสามารถ derive สมการที่ 2.41 ได้สมการ 2.42 ดังนี้

$$F_p = \pi R_p^2 \sin^2 \alpha \left(H \rho_\ell g - \frac{2\sigma}{R_b} \right) \quad \text{-----}(2.42)$$

เมื่อ $H = R_b \left\{ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{R_p}{R_b} \right)^2 \sin^2 \alpha} \right\}$



รูปที่ 2.11 Particle attached to a bubble (Phan, 2003)

แรงที่มีส่วนทำให้อนุภาคและฟองอากาศหลุดออกจากกัน (Detaching force, F_{de}) ได้แก่ แรงเนื่องจากน้ำหนักของอนุภาค (F_g) และแรงเนื่องจากความแรงของการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน (b_m) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.43

$$F_{de} = \frac{4\pi R_p^3 \Delta\rho}{3} (g + b_m) \quad \text{-----}(2.43)$$

จากสมการ 2.43 นำมาหาค่า $R_{p\max}$ ของอนุภาคที่ไม่ทำให้เกิดการหลุดออกจากการเกาะติดได้
ดังสมการที่ 2.44 (Ngun, 2001)

$$\frac{R_{p\max}}{L} = \sqrt{\frac{3\sigma(1-\cos\theta)}{4\Delta\rho(g+b_m)}} \quad \text{-----}(2.44)$$

2.2.3.3.2 ส่วนที่ 2 ส่วนแยก (separation zone)

อนุภาคจะถูกกำจัดออกจากน้ำในส่วนแยกนี้ สภาวะซึ่งจะเกิดการ

กำจัดอนุภาคออกไปได้เมื่อ $\frac{t_b}{t_{st}} > 1$

เมื่อ t_b คือ เวลาที่อนุภาคอยู่ในส่วนแยก

t_{st} คือ เวลาที่เกิดการลอยของอนุภาคขึ้นมาถึงผิวน้ำ

ประสิทธิภาพของการแยก (y) ขึ้นอยู่กับความเร็วในการลอยขึ้นของ
ฟองอากาศกับอนุภาค (bubble-particle rise velocity, V_{st}) และอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้า
ระบบ

ความเร็วในการลอยขึ้นนั้นจะถูกกำหนดโดยสมการของ Stokes ดังนี้

- สำหรับการไหลแบบ laminar ($Re < 1$)

$$V_{st} = \frac{1g}{18\nu} \frac{(\rho_w - \rho_a)}{\rho_w} d_a^2 \quad \text{-----}(2.31)$$

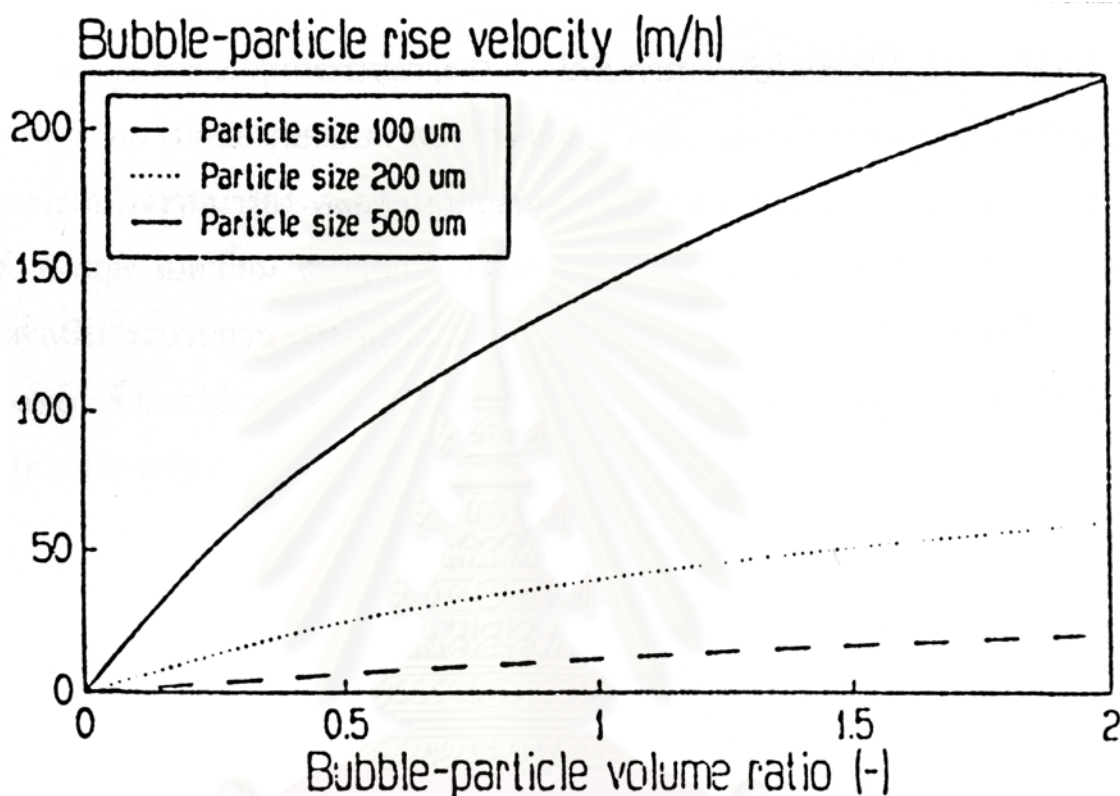
- สำหรับการไหลแบบ laminar — turbulent ($1 < Re < 50$)

$$V_{st} = \frac{1}{10} \frac{g^{0.8}}{\nu^{0.6}} \left[\frac{(\rho_w - \rho_a)}{\rho_w} \right]^{0.8} d_a^{1.4} \quad \text{-----}(2.32)$$

เมื่อ ρ_a คือ ความหนาแน่นของฟองอากาศและอนุภาค (g/m^3)

d_a คือ ขนาดของฟองอากาศและอนุภาค (m)

นอกจากนี้ขนาดฟองอากาศและขนาดของอนุภาคก็มีผลต่อความเร็วในการลอยขึ้น (V_{st}) ด้วย โดยที่เมื่อฟองอากาศเล็กลงจะทำให้ความเร็วในการลอยขึ้นต่ำลงดังแสดงในรูปที่ 2.12 และตาราง 2.5 ซึ่งจะพบว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะทำให้มีความเร็วในการลอยขึ้นสูงกว่าอนุภาคขนาดเล็ก



รูปที่ 2.12 ผลของขนาดอนุภาคต่อความเร็วในการลอยขึ้น (Schers และ Dijk, 1992)

อย่างไรก็ตามอนุภาคหรือ ฟล๊อค ที่มีขนาดใหญ่เกินไปก็ไม่เป็นผลดี แม้ว่าขนาดที่ใหญ่จะทำให้มีโอกาสที่ฟองอากาศจำนวนมากมาชนหรือเกาะติด ทำให้เกิดความเร็วในการลอยขึ้นสูง แต่ถ้าหากไม่เกิดการชนโดยฟองอากาศ, ฟองอากาศมาเกาะน้อย หรือการชนไม่มีประสิทธิภาพ อนุภาคหรือ ฟล๊อค ขนาดใหญ่ซึ่งมีความหนาแน่นสูงเหล่านั้นก็จะเกิดการตกตะกอน ส่วนฟองอากาศซึ่งมีขนาดใหญ่ แม้จะมีความเร็วในการลอยขึ้นสูงแต่จะทำให้ประสิทธิภาพในส่วนสัมผัสหรือส่วนปฏิกิริยาต่ำลงเนื่องจากทำให้ค่า Bubble-Filter Efficiency ต่ำลง

ตารางที่ 2.5 แสดงผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อความเร็วลอยขึ้น (Schers และ Dijk ,1992)

จำนวนฟองอากาศที่เข้าสัมผัสหรือชน	ความหนาแน่นของฟองอากาศ-อนุภาค ρ_a (kg/m ³)	ความเร็วลอยขึ้นของฟองอากาศและอนุภาค V_{st} (m/hr)
$(d_d = 100 \mu\text{m})$	1	942
	5	760
	10	612
	50	239
$(d_d = 200 \mu\text{m})$	1	995
	5	964
	10	864
	50	716
	100	557
	400	239
$(d_d = 500 \mu\text{m})$	5	1000
	10	998
	50	976
	100	953
	200	909
	400	850
	800	716

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การทดลอง

อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง สารเคมีที่ใช้ รวมถึงวิธีการทดลองในการศึกษาอิทธิพลของความดันต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดตะกอนขั้นต้นด้วยกระบวนการทำให้ลอยเป็นไปตามหัวข้อ 3.1 – 3.3

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. โปแตสเซียมไดโครเมต
2. เฟอโรอินอินดิเคเตอร์
3. เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต
4. กรดซัลฟิวริก
5. น้ำกลั่น
6. ซิลเวอร์ซัลเฟต
7. เมอคิวริกซัลเฟต
8. กรดไฮโดรคลอริก
9. เฮกเซน
10. โซเดียมซัลเฟต
11. กระจกทรง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

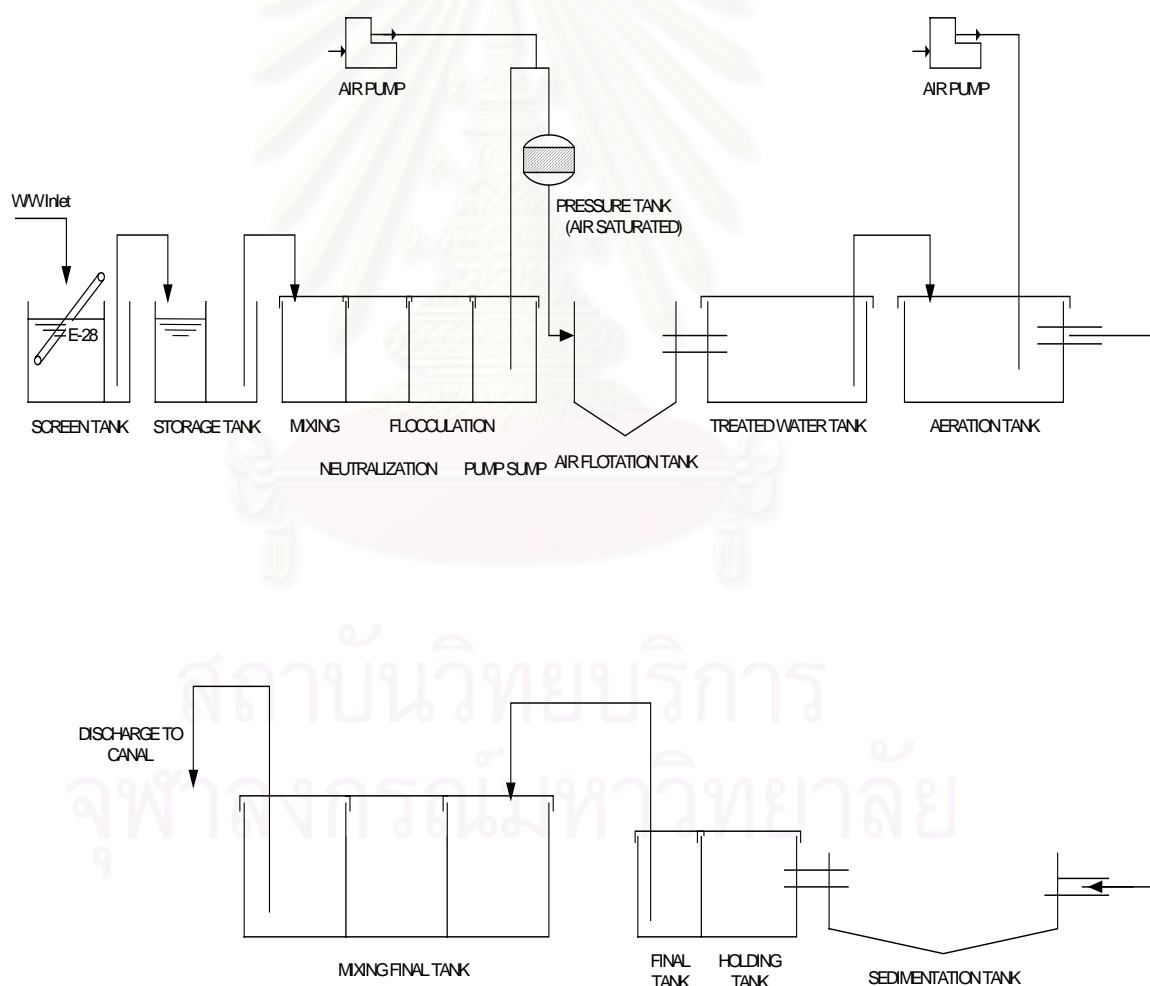
3.2.1 ชุดทดลองของกระบวนการตะกอนลอย

1. ถังทำให้ลอย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เมตร สูง 0.47 เมตร
2. ถังความดัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 เมตร สูง 0.275 เมตร
3. วาล์วลดความดัน (Pressure Reducing Valve)

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์ คุณภาพของน้ำประกอบด้วย

1. เครื่องวัด pH
2. เครื่องวัด Conductivity
3. เครื่องวัด Dissolved Oxygen
4. กรวยบุนเนอร์

5. เครื่องดูดอากาศ
6. กรวยสำหรับแยก พร้อมมุ้งที่ทำด้วยเทฟลอน
7. ตู้อบ (Oven)
8. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)
9. Atomic Absorption
10. โถทำแห้ง (Desicator)
11. ภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย (Digestion Vessel) ขนาด 25 *150 มม.
12. ฮีตติงบล็อก (Heating Block)
13. เครื่องอิงน้ำ (Waterbath)
14. เครื่องแก้ว



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

3.3 วิธีการทดลอง

ในการวิจัยมีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

3.3.1 จุดที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำและทำการวิเคราะห์

มี 3 จุด ได้แก่

3.3.1.1 Raw (บ่อบำบัดน้ำก่อนผ่านขบวนการ Coagulation และ Flocculation)

3.3.1.2 Pump Sump (บ่อบำบัดน้ำหลังจากผ่านขบวนการ Coagulation และ Flocculation)

3.3.1.3 Treated (น้ำหลังจากผ่านขบวนการ Dissolved Air Flootation ในบ่อบำบัดน้ำ Kurifloator tank)

ค่าที่ทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity), ค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS), ค่าซีไอดี (COD), ค่าน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease), การกระจายตัวของขนาดของแข็ง (Size distribution) และหาค่าความหนาแน่นของตะกอนสำหรับบ่อบำบัดน้ำหลังจากผ่านขบวนการ Coagulation และ Flocculation

3.3.2 ปรับค่า Pressure ภายใน Pressure Tank

ค่าความดันก่อนเริ่มทำการวิจัยตั้งไว้ที่ 0.5 MPa เมื่อทำการวิจัยจึงปรับไปที่ค่าความดันดังต่อไปนี้ 0.3, 0.4, 0.6 และ 0.7 MPa ตามลำดับ หลังจากปรับความดันในถังอัดความดันแล้ว รอจนกระทั่งเวลาผ่านไป 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง (เนื่องจากไม่สามารถทดลองที่ค่าความดันต่าง ๆ ในเวลานานานได้) แล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำ จากนั้นตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ระบุในข้อ 3.3.1

หมายเหตุ แต่ละความดันทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์คุณภาพของน้ำ

Sample Name	Pressure (Mpa)	Palameter Analysis
Raw (1, 2, 3, 4) hr.	0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7	pH, Conductivity, TDS, COD, Oil&Grease, Size distribution
Pump-sump (1, 2, 3, 4) hr.	0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7	pH, Conductivity, TDS, COD, Oil&Grease, Size distribution, Density of solids
Treated (1, 2, 3, 4) hr.	0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7	pH, Conductivity, TDS, COD, Oil&Grease, Size distribution

3.3.3 วิธีการวิเคราะห์ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

3.3.3.1 การวัดค่า pH : โดยใช้เครื่องวัด pH มิเตอร์

3.3.3.2 การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า : โดยใช้เครื่องวัดคอนดักติวิตีมิเตอร์

(Conductivity Meter)

3.3.3.3 การวิเคราะห์ค่าทีเอส : ซึ่งวิธีวิเคราะห์มีดังนี้

3.3.3.3.1 กรองตะกอนที่สามารถกรองได้ออกทิ้ง หรือใช้น้ำส่วนที่ได้จากการกรอง (filtrate)

3.3.3.3.2 ชั่งจานระเหยที่นำไปอบที่อุณหภูมิ 103—105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นลงใน desiccator สมมติให้เป็น A

3.3.3.3.3 ตวงน้ำส่วนที่ได้จากการกรอง 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ปริมาตรของตัวอย่างน้ำขึ้นอยู่กับขนาดของจานระเหย) ใส่ในจานระเหย นำไปตั้งบนเครื่อง waterbath ให้น้ำระเหยจนแห้ง

3.3.3.3.4 นำจานระเหยที่แห้งไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 103—105 องศาเซลเซียส อบจนแห้งและได้น้ำหนักคงที่ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นใน desiccator จนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งจานระเหย สมมติให้เป็น B

3.3.3.3.5 การคำนวณ โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{TDS} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (B - A) * 1000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ}}$$

3.3.3.4 การวิเคราะห์ค่าซีไอดี : โดยวิธีการกลั่นแบบปิด(Closed Reflux Method) ซึ่งวิธีวิเคราะห์มีดังนี้

3.3.3.4.1 นำตัวอย่างน้ำมาใส่ขวดย่อยสลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมนสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 6 มิลลิลิตร กรดกำมะถันเข้มข้น 14 มิลลิลิตร

3.3.3.4.2 ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น คว่ำหลอดแก้วไปมาหลายๆครั้งเพื่อผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง

3.3.3.4.3 นำหลอดทดลองเหล่านี้ไปใส่ในเครื่องย่อยสลายหรือเตาอบซึ่งได้ทำให้อุ่นถึงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสก่อน ใช้เวลารีดักซ์ 2 ชั่วโมงแล้วทิ้งให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง

3.3.3.4.4 เปิดฝาจุกแล้วเทสารละลายลงใน flask ขนาด 150 มิลลิลิตร ล้าง

หลอด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง เทลงใน flask เติม Ferroun Indicator ประมาณ 1-2 หยด เขย่าอย่างรวดเร็ว ขณะไทเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน Ferrous Ammonium Sulfate (FAS) 0.1 นอร์มัล จุดยุติจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจากฟ้าอมเขียวเป็นน้ำตาลแดง และในลักษณะเดียวกันให้ย่อยสลายและไทเตรต Blank ที่มีน้ำยาเคมีกับน้ำกลั่นในปริมาตรเท่ากับตัวอย่างน้ำด้วย

3.3.3.4.5 การคำนวณค่าซีไอดี

$$\text{ซีไอดี , มิลลิกรัมต่อลิตร.} = \frac{(A-B) * M * 8000}{\text{มิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำ}}$$

โดย A = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเตรต Blank

B = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเตรตตัวอย่างน้ำ

M = โมลาลิตีของ FAS

3.3.3.5 การหาการกระจายขนาดของแข็งในน้ำเสีย: โดยเป็นการวัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ของอนุภาคขนาดต่างๆ ซึ่งวิธีวิเคราะห์มีดังนี้

3.3.3.5.1 ใช้กระดาษกรองที่ขนาดของ pore size ต่าง ๆ ดังนี้

3.3.3.5.1.1 Whatman GFA 1.6 μm

3.3.3.5.1.2 Whatman GFB 1.0 μm

3.3.3.5.1.3 Whatman GFC 1.2 μm

3.3.3.5.1.4 Whatman GFD 2.7 μm

3.3.3.5.1.5 Whatman GFF 0.7 μm

3.3.3.5.1.6 Whatman No.1 11 μm

3.3.3.5.1.7 Whatman N0.2 8 μm

3.3.3.5.1.8 Whatman No.3 6 μm

3.3.3.5.1.9 Whatman No.4 20-25 μm

3.3.3.5.1.10 Whatman No.42 2.5 μm

อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้งแล้ว ชั่งน้ำหนักของกระดาษกรอง เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำมาจำนวนหนึ่ง (ให้มีจำนวนมากพอที่จะกรองได้หลายครั้ง) มาวิเคราะห์หาค่าของแข็งแขวนลอย (SS) หลังจากนั้นนำตัวอย่างน้ำมาทำการกรองโดยวางกระดาษกรอง Whatman No.4 ซึ่งมี pore size ขนาดใหญ่สุดลงในกรวย บุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศและทำการกรองตัวอย่างน้ำโดยอาศัยแรงดูดช่วย หลังจาก

ให้นำกระดาษกรองที่กรองได้ไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโลทำแห้งแล้วชั่งน้ำหนักกระดาษกรองใหม่ นำน้ำหนักของกระดาษกรองหลังกรองลบด้วยน้ำหนักของกระดาษกรองก่อนกรอง จะได้น้ำหนักของของแข็งแขวนลอยที่เพิ่มขึ้นที่สามารถกรองได้

3.3.3.5.2 นำน้ำตัวอย่างที่สามารถผ่านกระดาษกรอง Whatman No.4 ได้ มาหาค่าของแข็งแขวนลอย (SS) อีก หลังจากนั้นนำมากรองด้วยวิธีเดียวกับกรองครั้งแรกด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และคำนวณหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

3.3.3.5.3 นำน้ำตัวอย่างที่สามารถผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 มาหาค่าของแข็งแขวนลอย (SS) และนำมากรองด้วยวิธีเดียวกันด้วยกระดาษกรองที่มีขนาด pore size เล็กกว่าคือ Whatman No.2 คำนวณหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

3.3.3.5.4 หาค่าของแข็งแขวนลอย (SS) จากน้ำที่กรองได้และกรองต่อไป ด้วยกระดาษกรองที่มี pore size เล็กกว่า ทำเช่นนี้ต่อไปด้วยกระดาษกรอง Whatman No.3 , Whatman GFD, Whatman No.42, Whatman GFA , Whatman GFC, Whatman GFB จนถึง Whatman GFF ตามลำดับ

3.3.3.5.5 นำน้ำหนักของกระดาษกรองที่แต่ละขนาด pore size มาวิเคราะห์หาค่า size distribution กล่าวคือ ค่าตะกอนแขวนลอย (SS) กับค่าน้ำหนักที่ pore size ขนาดต่าง ๆ พร้อมกับ plot graph

3.3.3.6 การวิเคราะห์น้ำมัน และไขมัน : โดยวิธีการสกัดแยก (Separation Funnel Extraction) ซึ่งวิธีวิเคราะห์มีดังนี้

3.3.3.6.1 เก็บตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร และซีกระดับน้ำในขวดตัวอย่างเพื่อจะหาปริมาณที่แน่นอนภายหลัง ถ้าตัวอย่างน้ำไม่ได้เก็บรักษาด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 : 1 ในขณะที่เก็บ ต้องเติมกรดไฮโดรคลอริก 5 มิลลิลิตรเข้าไปให้เข้ากัน วัด pH เพื่อให้แน่ใจว่า pH เป็น 2 หรือต่ำกว่า

3.3.3.6.2 เทตัวอย่างน้ำทั้งหมดลงในกรวยแยก

3.3.3.6.3 เติมเฮกเซนจำนวน 30 มล. ลงในขวดตัวอย่างหมุนขวดให้เฮกเซนชะน้ำมันและไขมันที่ติดข้างขวดให้หมด แล้วเทรวมกับตัวอย่างน้ำในกรวยแยกสกัดโดยการเขย่าแรง ๆ เป็นเวลา 2 นาที แล้วปล่อยให้ชั้นน้ำมันแยกออกจากน้ำ

3.3.3.6.4 กรองชั้นของตัวทำละลายผ่านกระดาษกรอง ซึ่งได้อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนักไว้ก่อนแล้ว

หมายเหตุ ส่วนที่เป็นอิมัลชันทำให้แตกออกได้โดยเทผ่านโซเดียมซัลเฟต 1 กรัมที่อยู่ก้นกระดาษกรองรูปกรวยและอาจเติมโซเดียมซัลเฟตลงไปอีก 1 กรัมได้ถ้าต้องการ

3.3.3.6.5 ทำตามข้อ 3.3.3.6.3 และ 3.3.3.6.4 ซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยเติมเฮกเซนลงไปใหม่อีกตามสมควร ต้องบันทึกปริมาตรที่ใช้แต่ละครั้งไว้รวมทั้งตัวทำละลายทั้งหมดลงในขวดกลั่น

3.3.3.6.6 ชะล้างกรวยแยกกระดาษกรองและกรวยกรองด้วยเฮกเซน 10-20 มิลลิลิตร แล้วเทรวมลงในขวดน้ำกลั่น

3.3.3.6.7 ระเหยตัวทำละลายให้แห้งบนเครื่องอังน้ำที่ 85 องศาเซลเซียส แล้วทำให้แห้งมากขึ้นโดยวางขวดกลั่นในเครื่องอังน้ำที่ปิดฝาได้ 15 นาที ดูดอากาศผ่านขวดกลั่นโดยอาศัยเครื่องดูดอากาศเป็นเวลา 1 นาที

3.3.3.6.8 ปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที นำมาชั่งหาน้ำหนักรวม

3.3.3.6.9 ทำ Blank โดยใช้ปริมาตรทั้งหมดของเฮกเซนที่ใช้สกัดตัวอย่าง

3.3.3.6.10 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำมันและไขมันทั้งหมด, มิลลิกรัมต่อลิตร} = \frac{X - Y}{Z}$$

เมื่อ X = น้ำหนักเป็นมิลลิกรัมของน้ำมันและไขมัน หาได้จากน้ำหนักขวดกลั่นที่มีน้ำมันและไขมัน (ในข้อ 3.3.3.6.8) ลบด้วยน้ำหนักของขวดกลั่น (ในข้อ 3.3.3.6.4)

Y = Blank คือ น้ำหนักเป็นมิลลิกรัมของส่วนที่เหลือของเฮกเซน (ในข้อ 3.3.3.6.9)

Z = ปริมาตรเป็นลิตรของตัวอย่างน้ำ หาได้โดยการตวงน้ำลงในขวดตัวอย่างจนถึงระดับที่ขีดไว้ ก็จะทราบปริมาณของตัวอย่างน้ำมัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 คุณลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียที่นำมาบำบัดในงานวิจัยนี้ เป็นน้ำทิ้งของโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยน้ำที่เกิดจากการล้างชิ้นงานและกระบวนการผลิตต่าง ๆ น้ำทิ้งจะมีน้ำมันปนอยู่พอสมควร เมื่อตรวจวัดคุณลักษณะน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดผลแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัด

คุณลักษณะในน้ำเสีย	หน่วย	ค่าที่วัดได้
pH	-	8.5
ค่าการนำไฟฟ้า	μs/cm	1200
ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด	mg/l	950
ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำ	mg/l	100
ค่าซีไอดี	mg/l	300
ค่าบีไอดี	mg/l	200
เหล็ก (โลหะหนัก)	mg/l	1
สังกะสี (โลหะหนัก)	mg/l	1
น้ำมันและไขมัน	mg/l	120

น้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการขัดผิวตลับลูกปืน โดยมีการใช้น้ำยาเคมีต่าง ๆ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว (surfactant), สารป้องกันการกัดกร่อน (corrosion protecting substance), salt of organic acid, emulsifier, dispersants, light catalytic cracked petroleum, oil and additives, alkali, carbonates, nitrite, complexing agent, inorganic salts และ complexing agents จากนั้นจึงส่งน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการลงสู่ระบบบำบัดต่อไป

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และพิจารณาปัจจัยที่ทำให้เกิดน้ำทิ้งที่มีการใช้น้ำยาเคมีต่าง ๆ ซึ่งสามารถแตกตัวเป็นไอออนละลายในน้ำจึงส่งผลให้น้ำเสียมีปริมาณของแข็งละลายน้ำค่อนข้าง

สูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอื่นๆ อันได้แก่ ปริมาณของแข็งแขวนลอย และน้ำมัน ซึ่งเป็นลักษณะของ คอลลอยด์ปนอยู่ในน้ำเสีย

เมื่อพิจารณาค่าซีไอดีที่บอกถึงปริมาณที่ต้องการใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ในน้ำ ค่าบีไอดี ที่แสดงปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในน้ำ จะพบว่าทั้งบีไอดีและซีไอดี จะอยู่ในรูปของของแข็งละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1 น้ำเสียมีปริมาณของแข็งละลายน้ำมากถึง 950 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปของ น้ำมันและไขมัน 120 มิลลิกรัมต่อลิตรและของแข็งแขวนลอย 100 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับที่กล่าวข้างต้นว่าน้ำทิ้งประกอบด้วยปริมาณของแข็งละลายน้ำเป็นหลัก

4.2 ผลของ Dissolved Air Flotation (DAF) ต่อคุณภาพน้ำทิ้ง

จากผลการศึกษาเมื่อพิจารณาน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด ด้วยกระบวนการทำให้ลอย (Dissolved Air Flotation, DAF) พบว่า ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC) และปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาและใช้ความดันที่ใช้ในการอัดอากาศ ตั้งแต่ 0.3 – 0.7 MPa ดังแสดงในรูปที่ 4.1 - 4.6

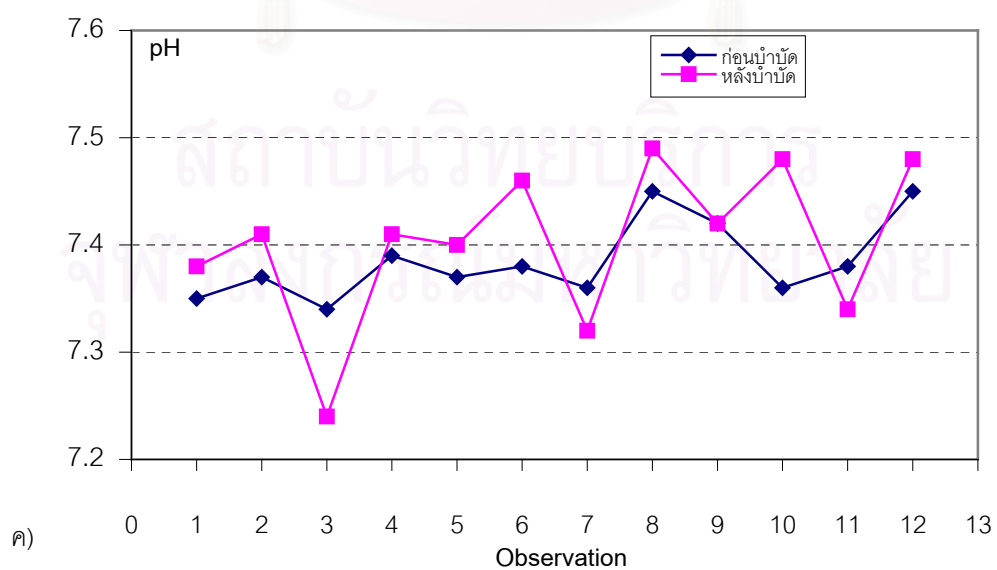
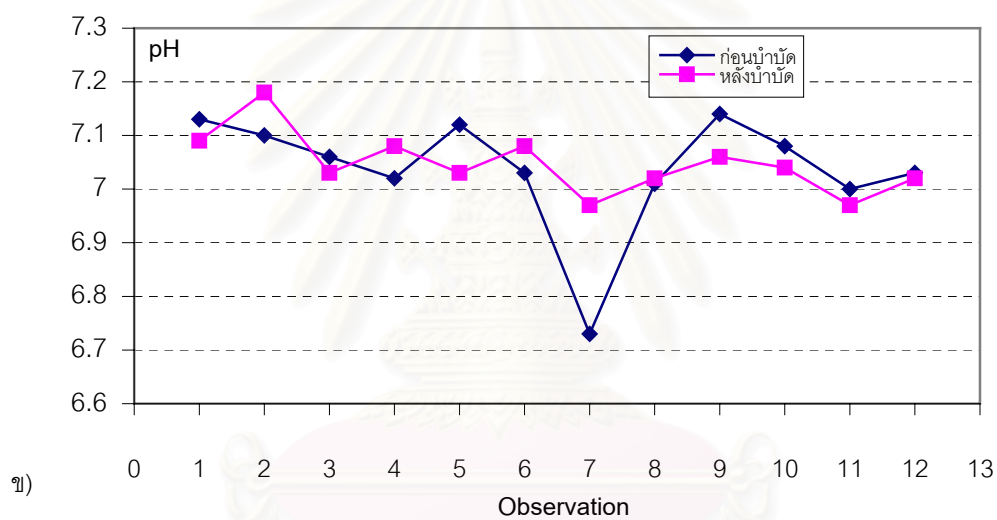
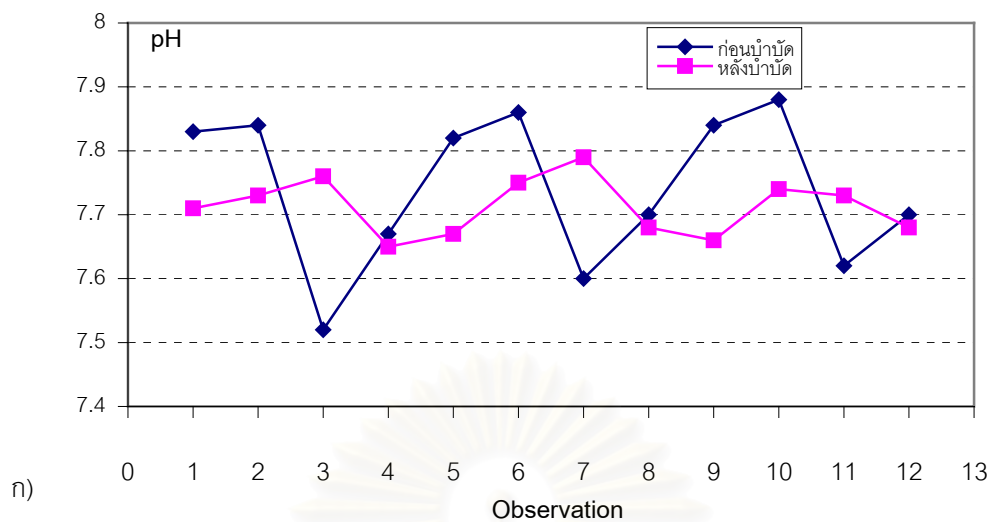
4.2.1 pH

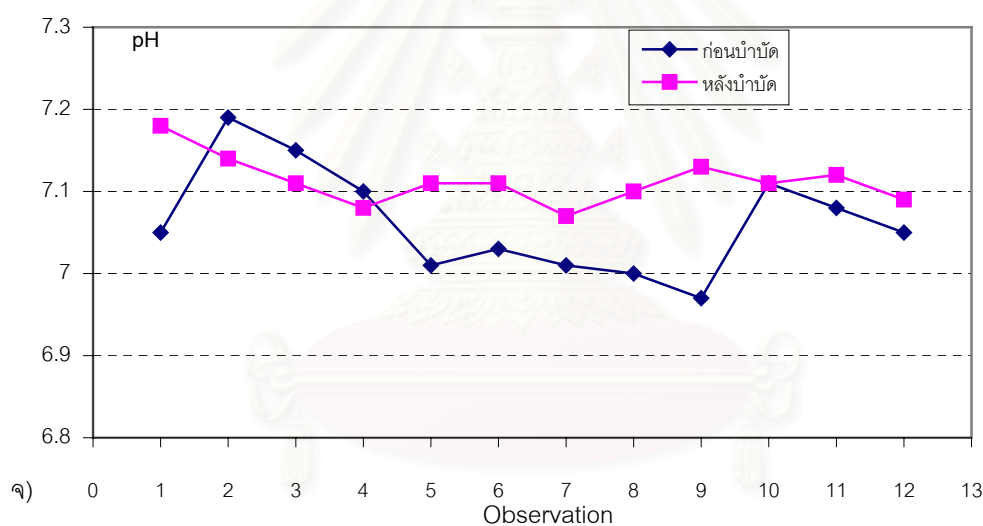
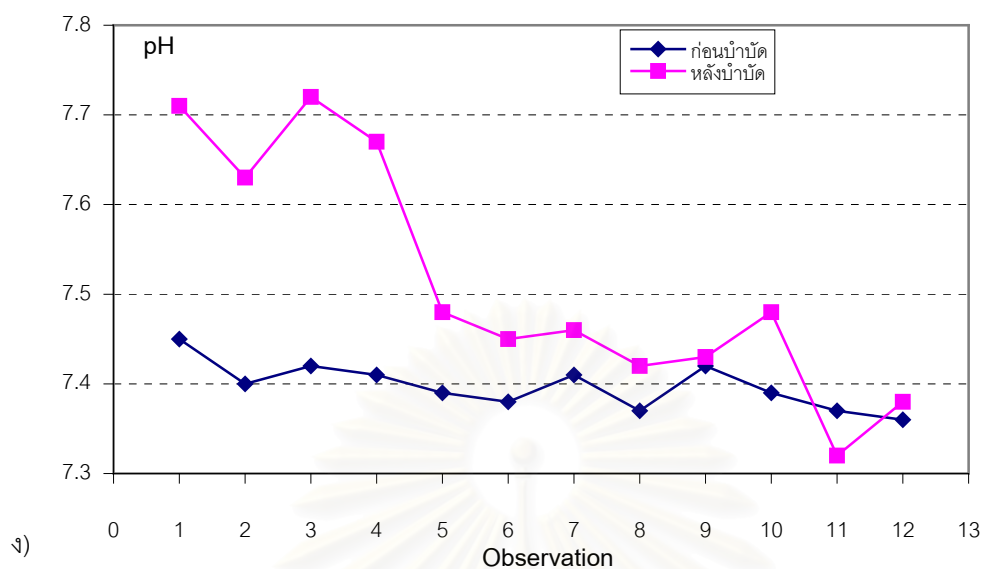
จากการทดลอง ค่า pH หลังจากผ่าน DAF ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอธิบายได้ จากสมการสมดุลกรดเบส ดังสมการที่ 4.1



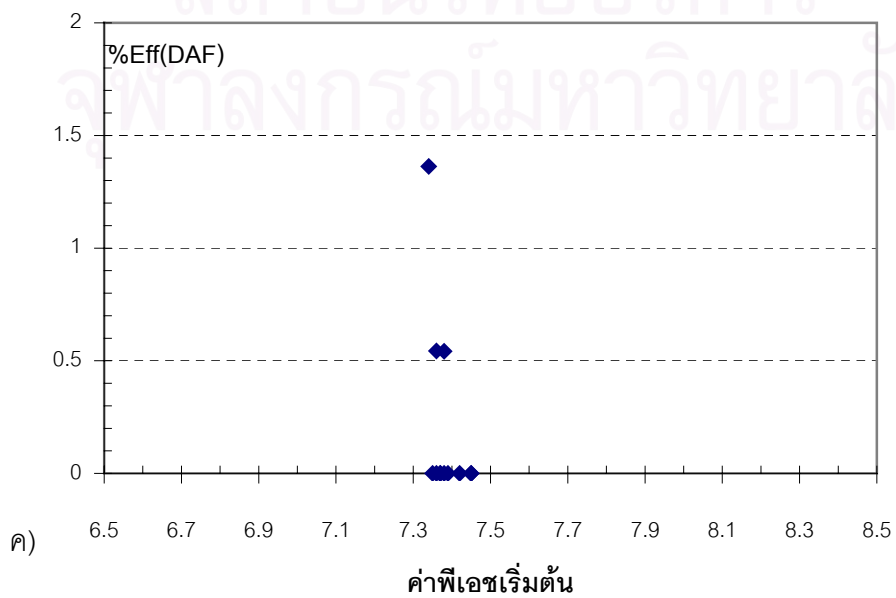
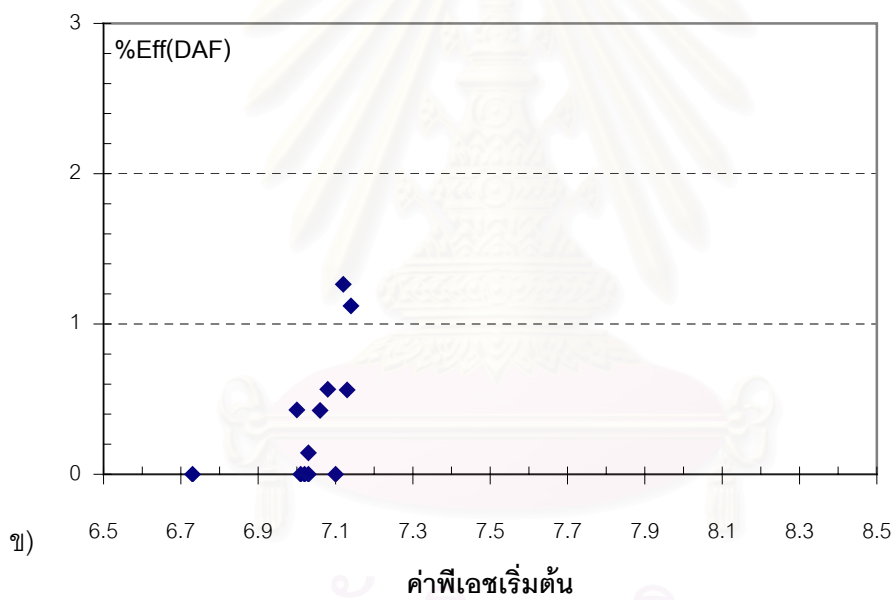
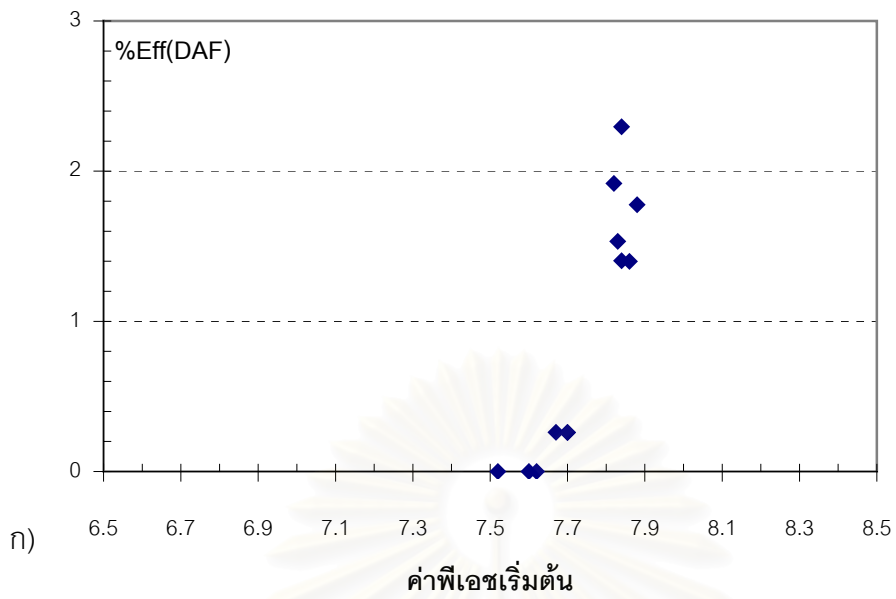
น้ำไม่เกิดการแตกตัวเพิ่มขึ้น ไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ค่า pH ซึ่งคิดจากความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน แสดงในสมการ 4.2

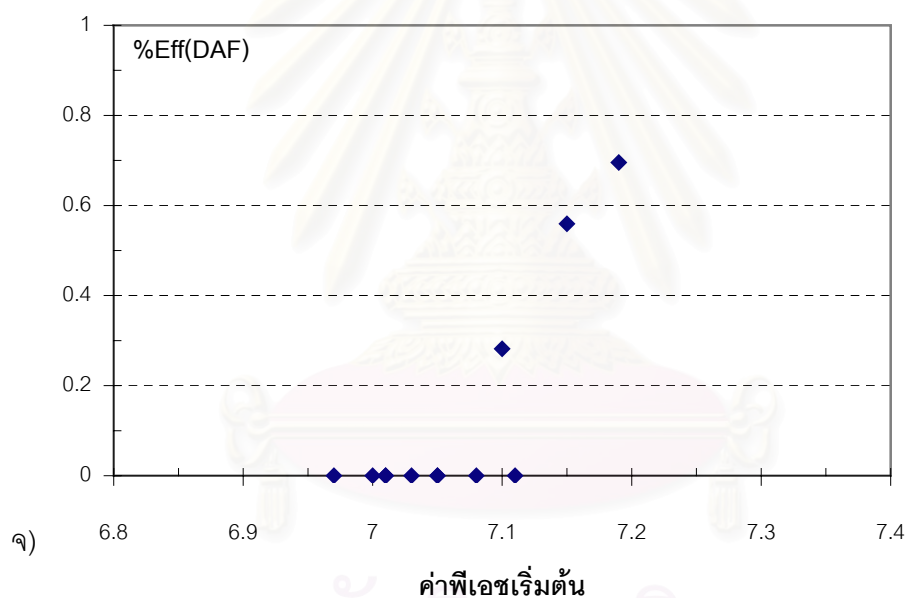
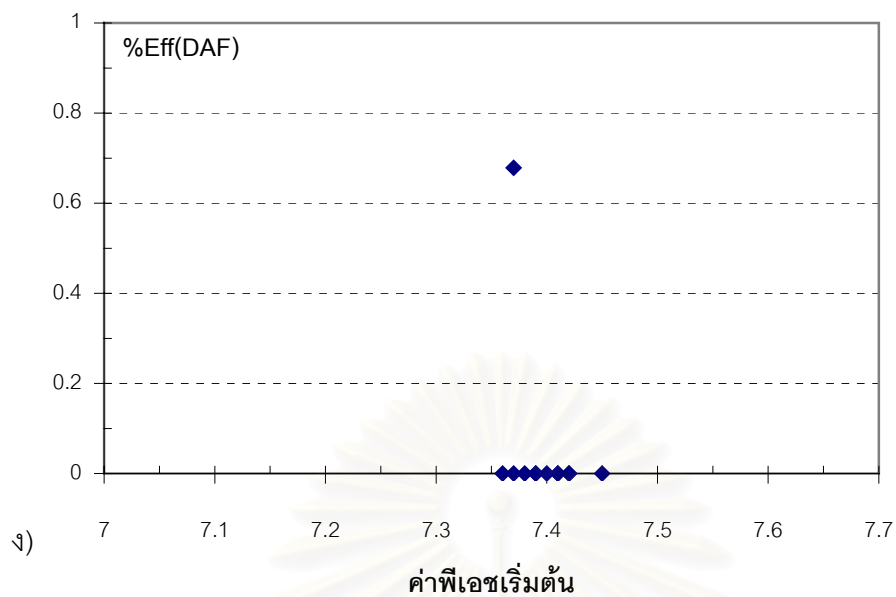
$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \text{-----(4.2)}$$





รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัดด้วย DAF ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ ก) 0.3 MPa, ข) 0.4 MPa, ค) 0.5 MPa, ง) 0.6 MPa, จ) 0.7 MPa

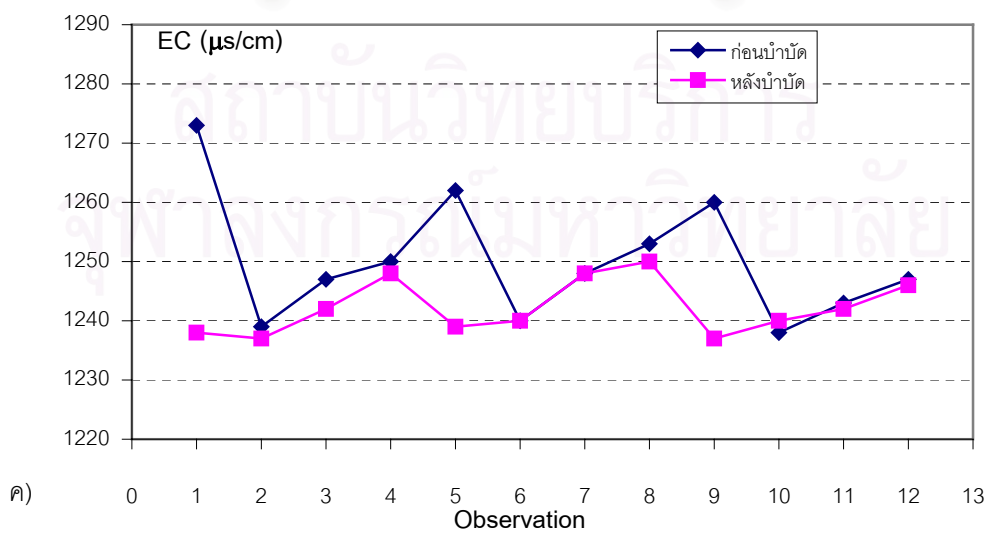
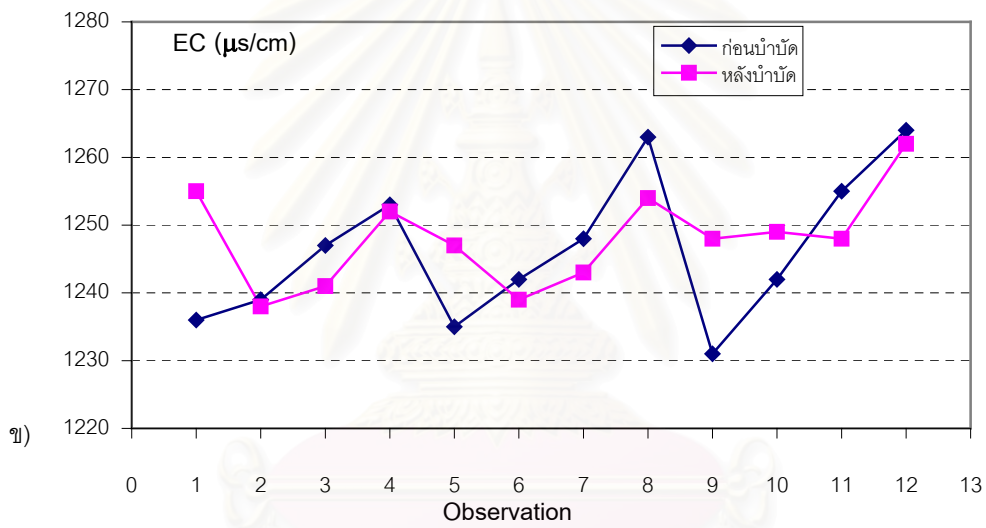
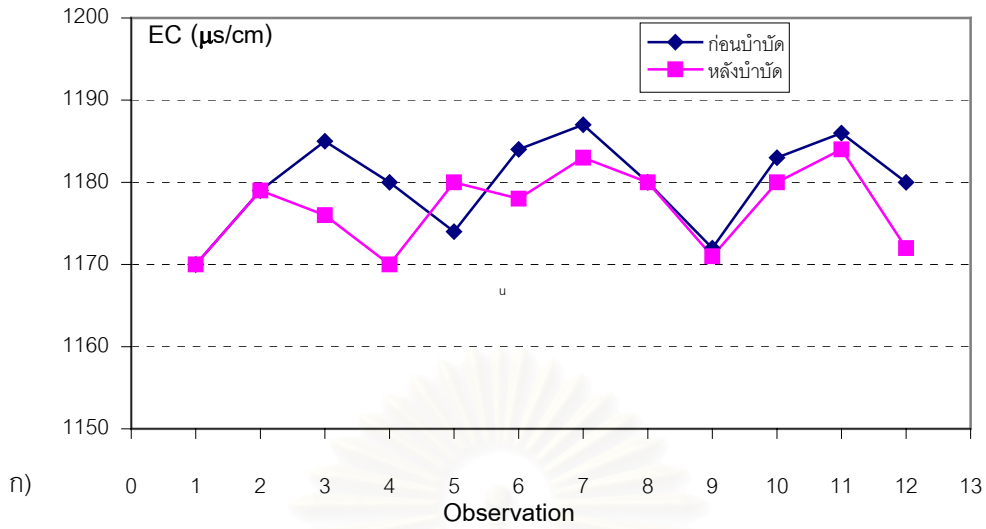


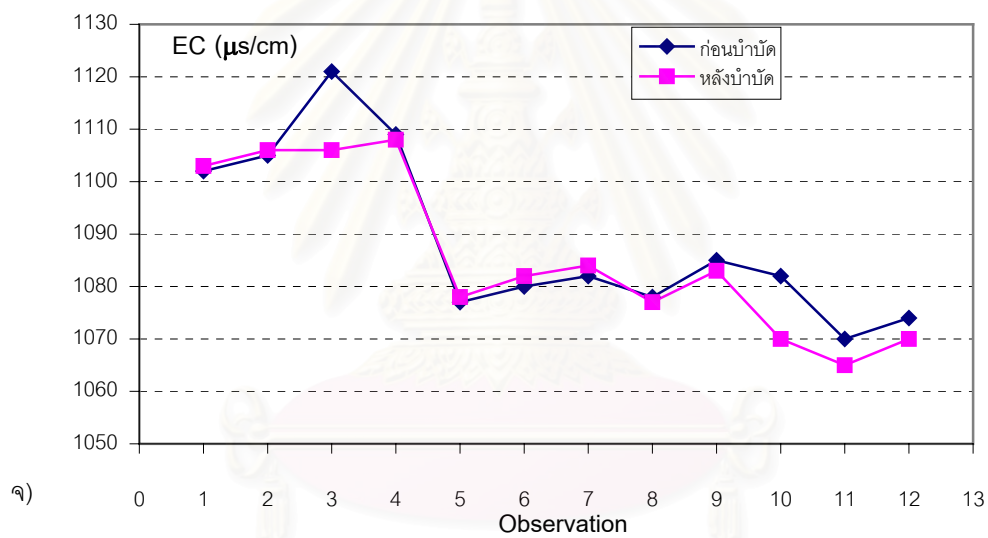
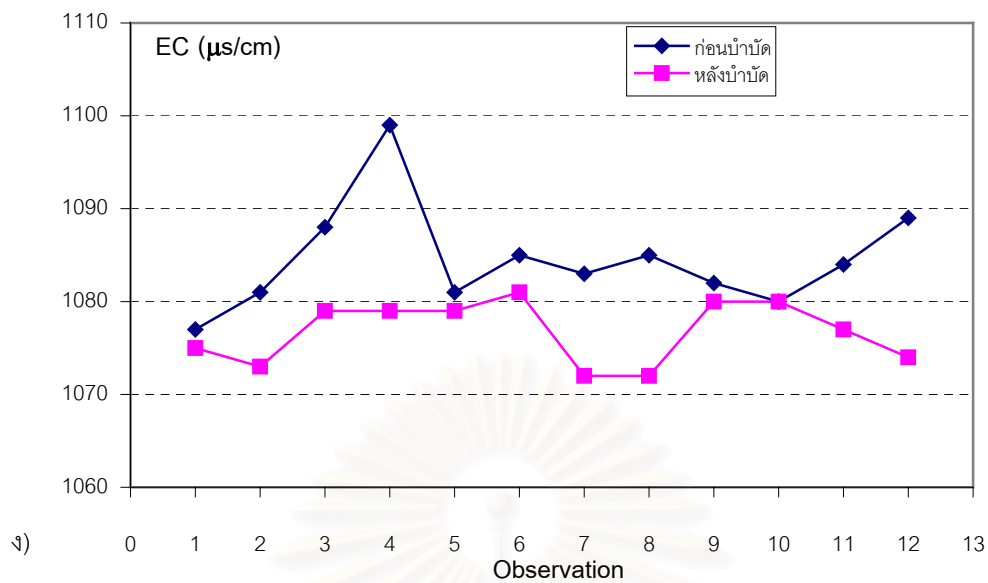


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดโดย DAF กับ pH เริ่มต้น ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ ก) 0.3 MPa, ข) 0.4 MPa, ค) 0.5 MPa, ง) 0.6 MPa, จ) 0.7 MPa

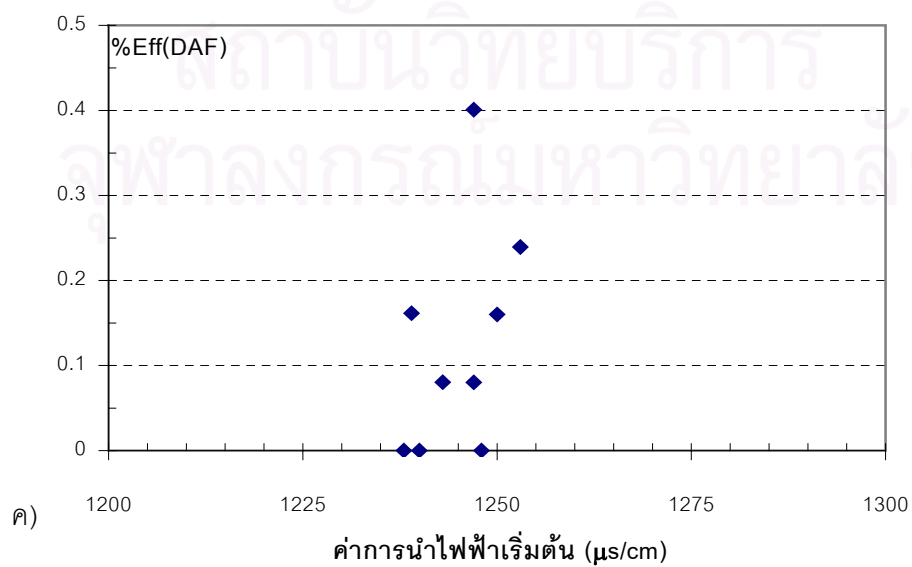
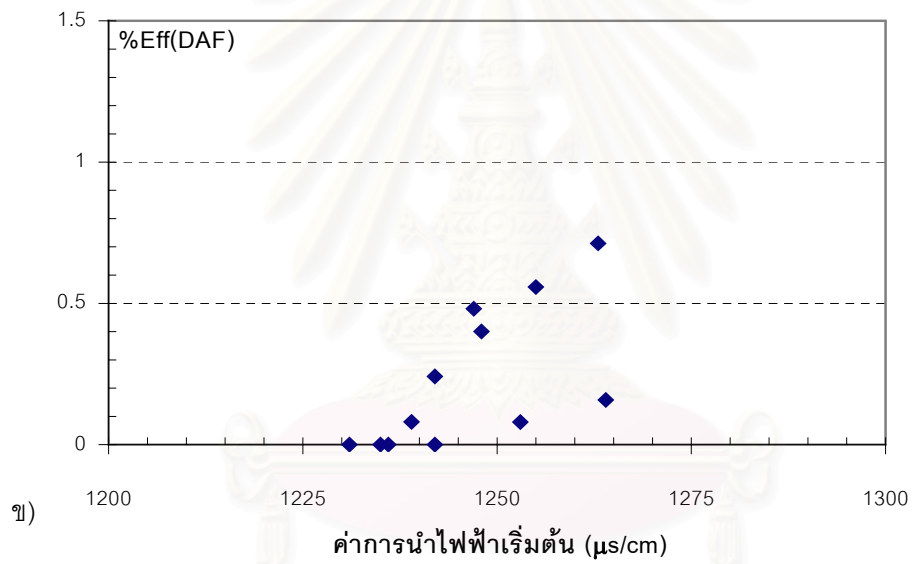
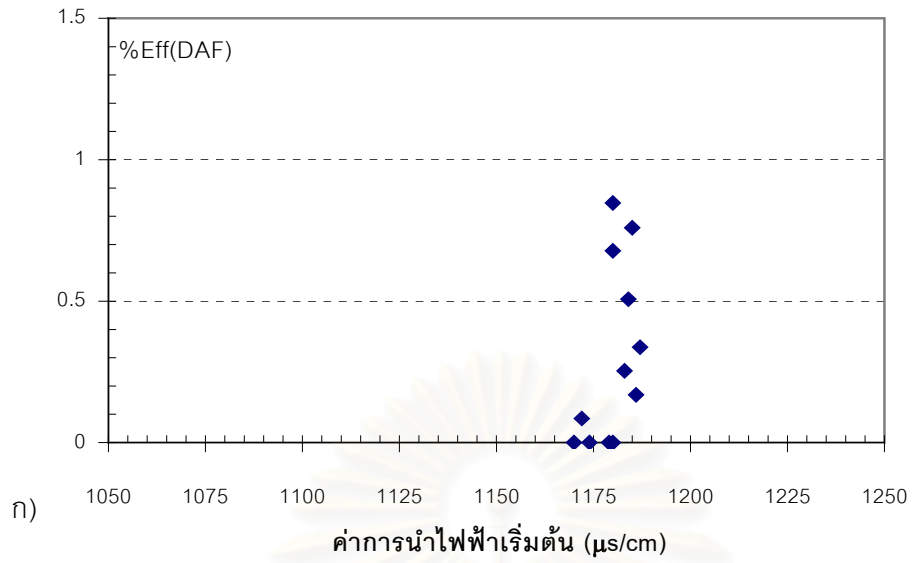
4.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า

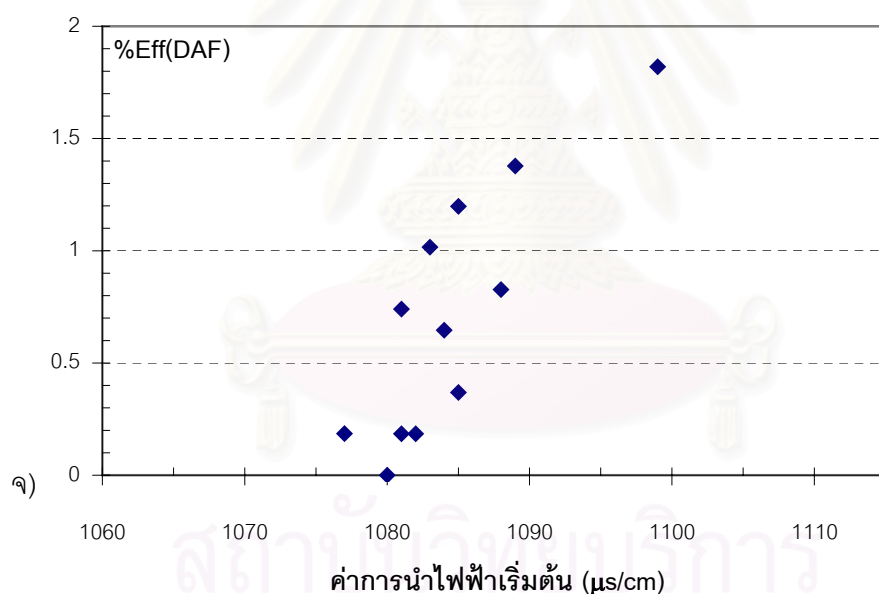
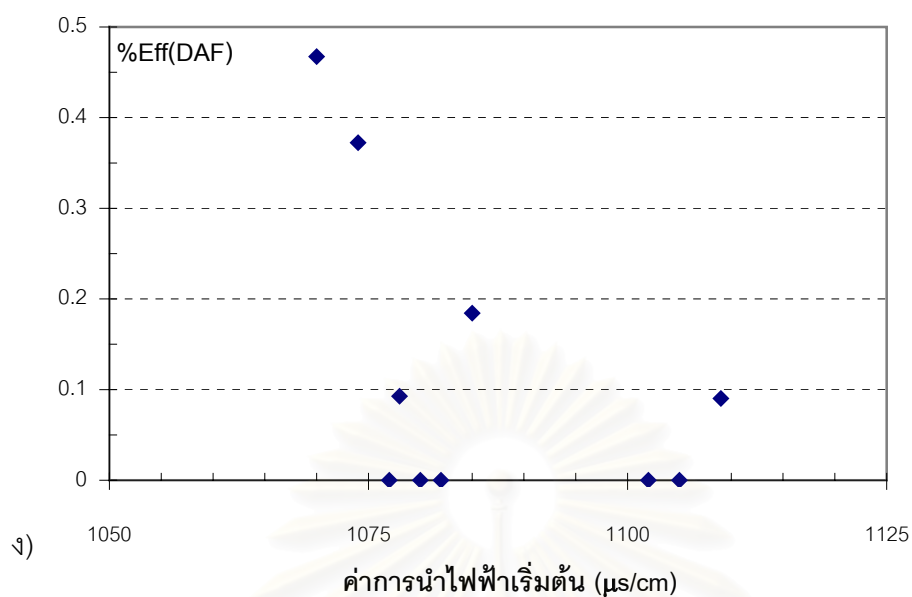
จากการทดลองค่าการนำไฟฟ้า หลังจากผ่าน DAF ไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากชนิดและจำนวนไอออนยังเท่าเดิม เช่น Na^+ , Mg^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , H^+ , Al^{3+} เป็นต้น





รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัดด้วย DAF ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ ก) 0.3 MPa, ข) 0.4 MPa, ค) 0.5 MPa, ง) 0.6 MPa, จ) 0.7 MPa

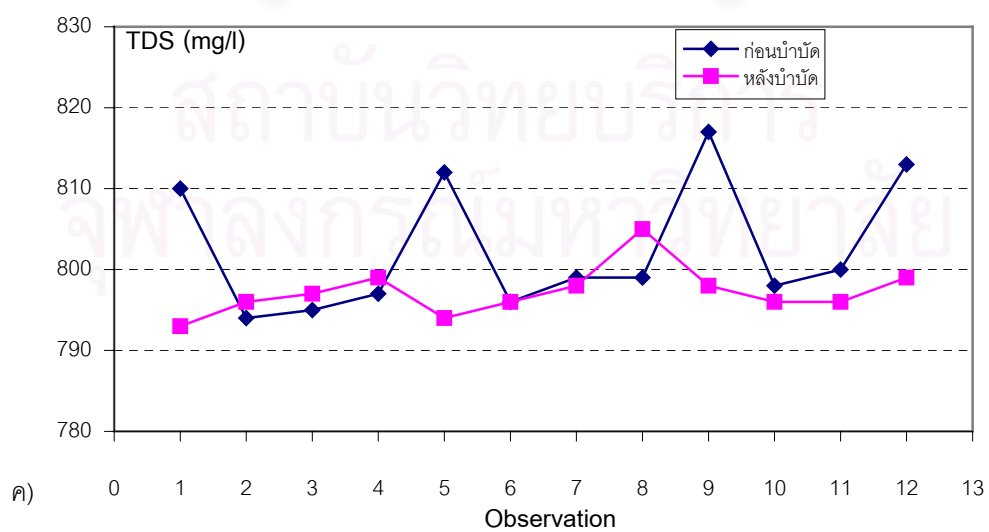
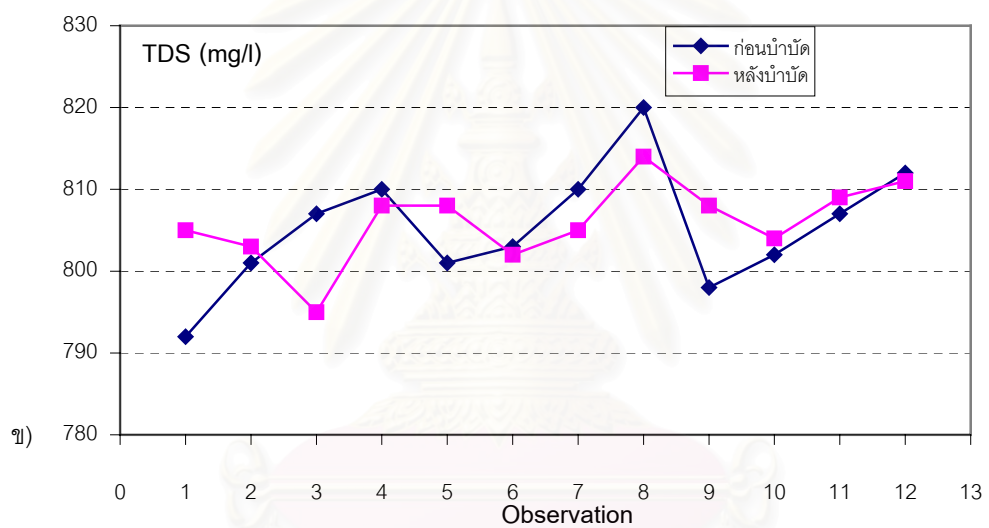
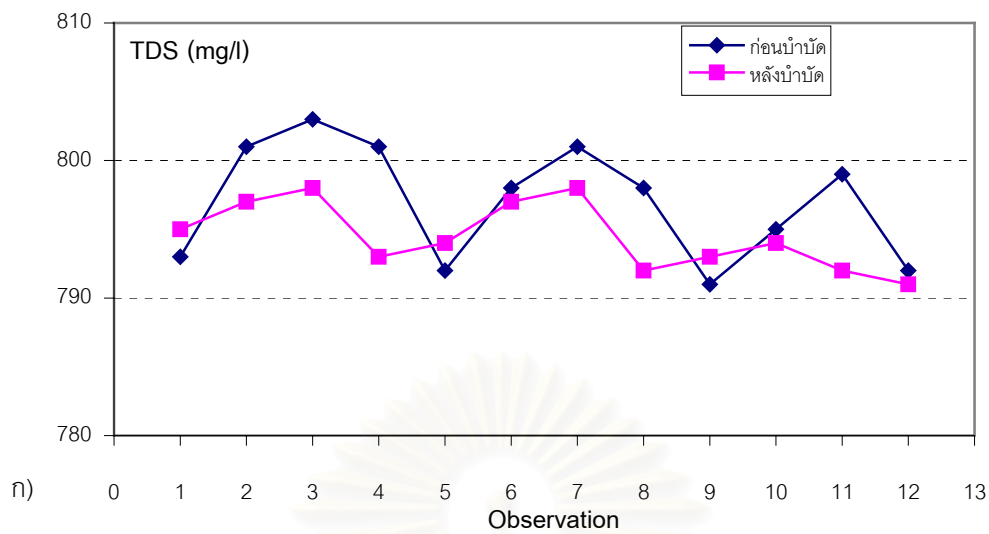


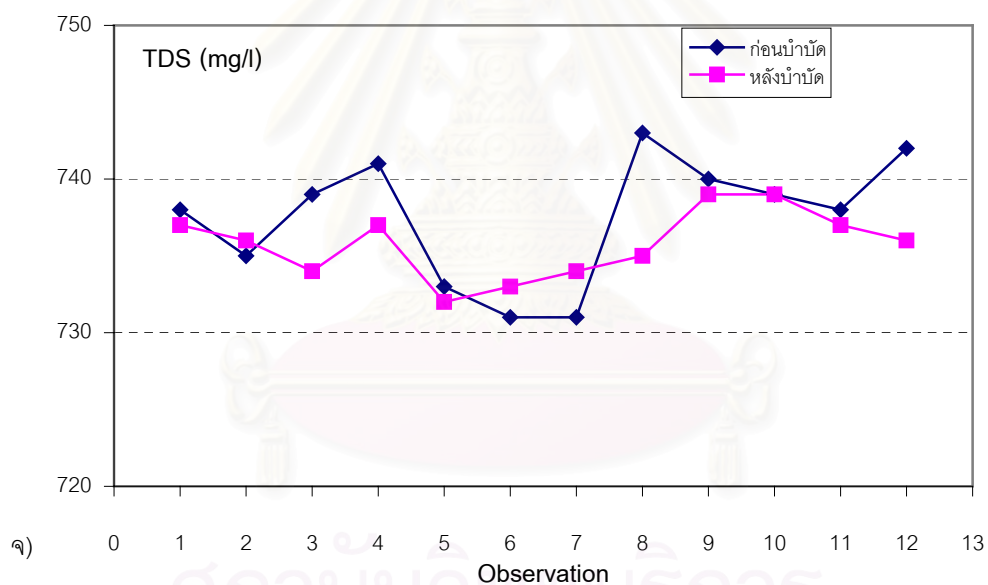
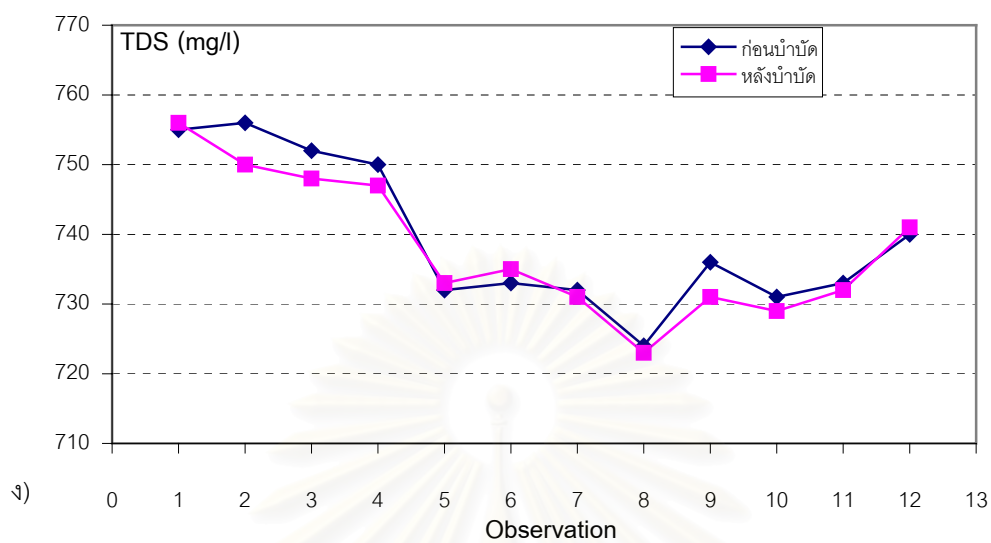


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดโดย DAF กับ ค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้นที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ ก) 0.3 MPa, ข) 0.4 MPa, ค) 0.5 MPa, ง) 0.6 MPa, จ) 0.7 MPa

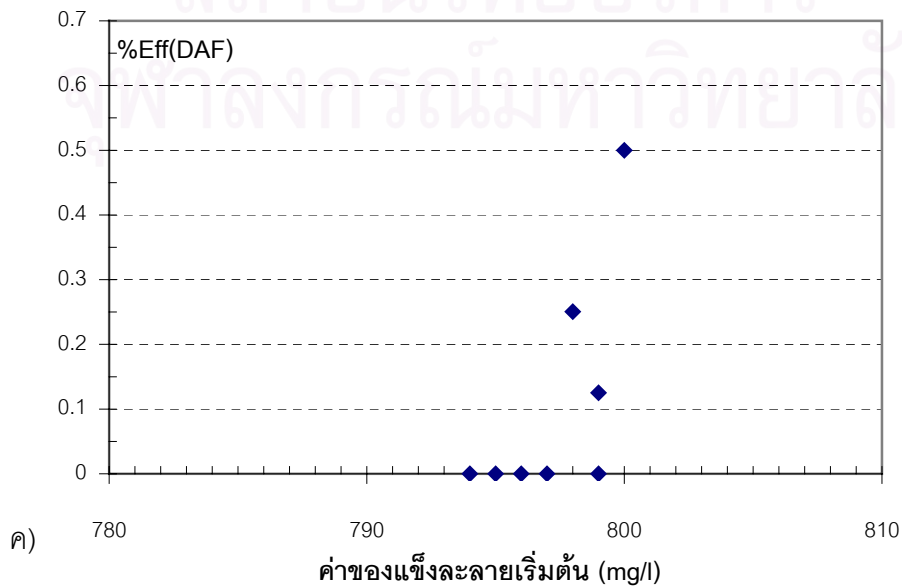
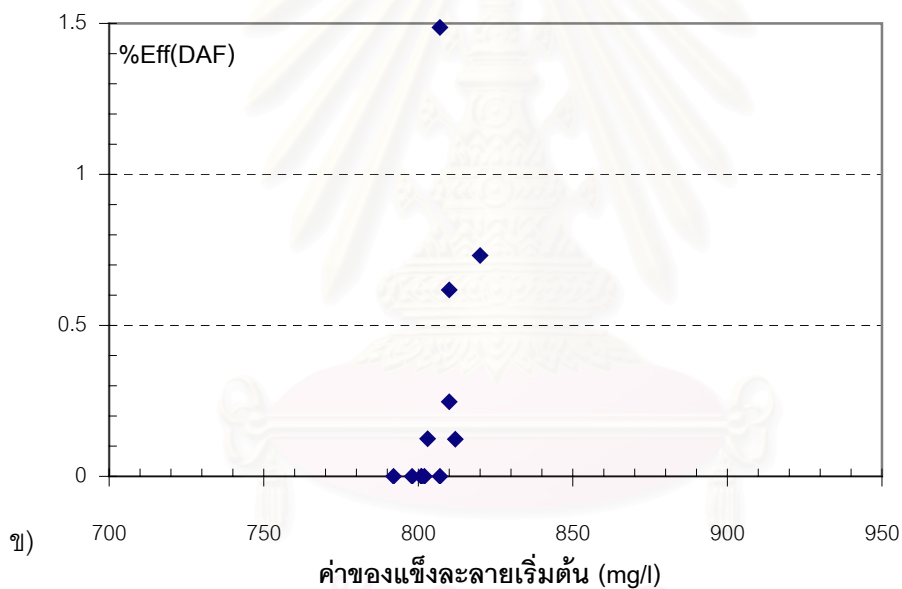
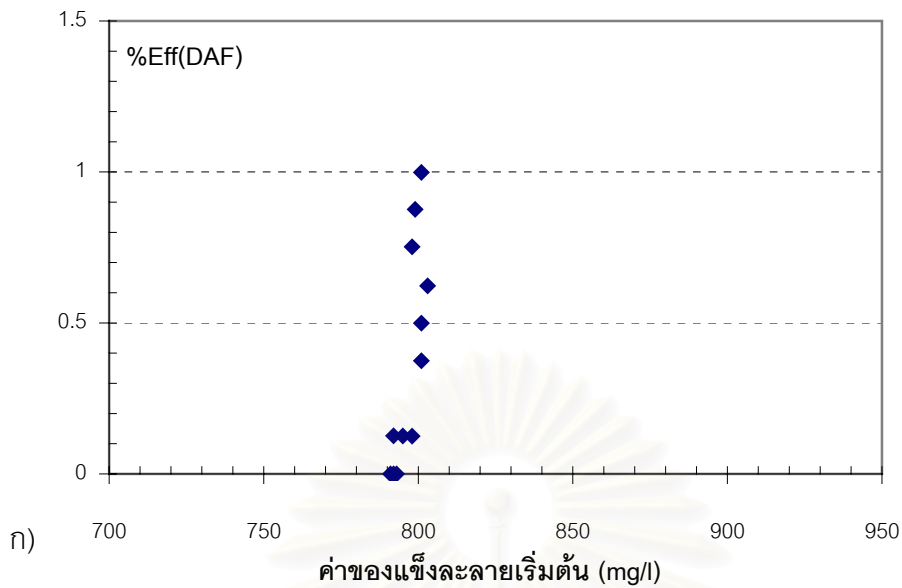
4.2.3 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

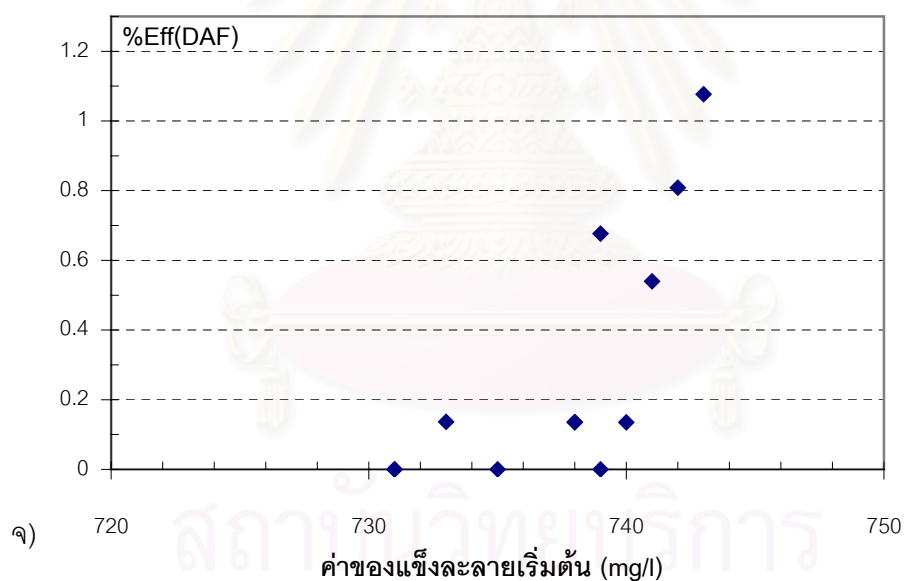
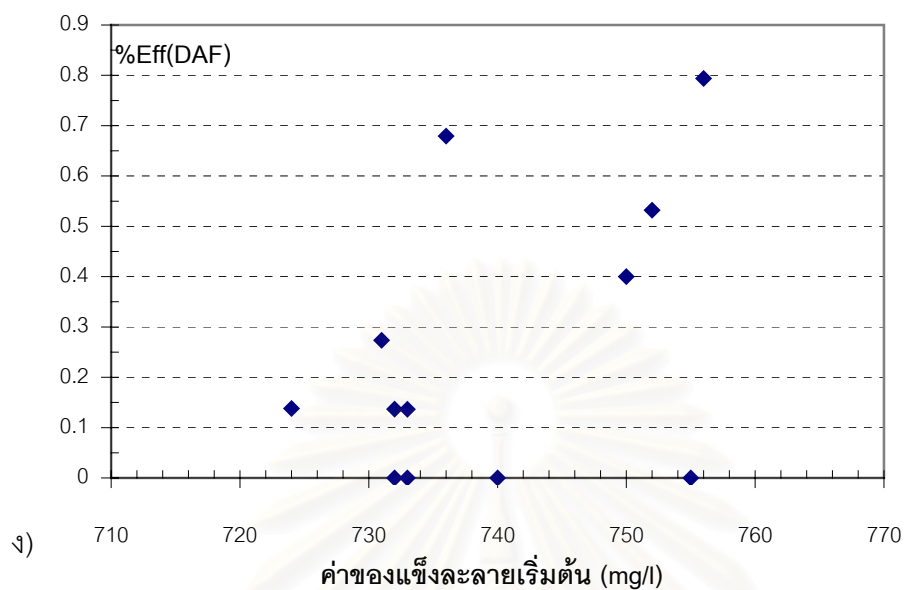
จากการทดลองพบว่า DAF ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เพราะว่า ไม่มีสารประกอบอนินทรีย์ที่เมื่อถูกออกซิไดซ์แล้วเกิดไอออนที่ละลายน้ำได้





รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัด ด้วย DAF ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ ก) 0.3 MPa, ข) 0.4 MPa, ค) 0.5 MPa, ง) 0.6 MPa, จ) 0.7 MPa





รูปที่ 4.6 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดโดย DAF กับ ค่าของแข็งละลายเริ่มต้นที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ ก) 0.3 MPa, ข) 0.4 MPa, ค) 0.5 MPa, ง) 0.6 MPa, จ) 0.7 MPa

อย่างไรก็ดี จากผลการศึกษพบว่าน้ำเสียที่ผ่าน DAF จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่า ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand , COD) , ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) และ น้ำ

มันและไขมัน (Oil and grease , O&G) โดยมีความแตกต่างกันไปตามความดันที่ใช้ในการอัดอากาศ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไปในหัวข้อ 4.3 – 4.5

4.3 ผลของความในการอัดอากาศต่อค่าซีไอดี

จากการทดลองค่าซีไอดี หลังจากผ่าน DAF มีค่าลดลง แสดงให้เห็นดังกราฟรูปที่ 4.7 เนื่องจาก DAF ทำให้เกิดการจับติดระหว่างอนุภาคทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์กับฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการลดความดันสู่ความดันบรรยากาศ โดยฟองอากาศจับกับอนุภาคจะลอยขึ้นสู่น้ำและเมื่อหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีไอดีจาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีไอดี} = \frac{\text{ค่าซีไอดีที่วิเคราะห์ได้ก่อนการบำบัด} - \text{ซีไอดีหลังการบำบัด}}{\text{ค่าซีไอดีที่วิเคราะห์ได้ก่อนการบำบัด}} * 100\%$$

ปริมาณค่าซีไอดีเริ่มต้นไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโดย DAF ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.8 และจากกราฟรูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุดคือที่ความดันอัดอากาศ 0.4 MPa รองลงมาคือ 0.5, 0.6, 0.3 และ 0.7 MPa ตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้จากกลไกการจับกันระหว่างฟองอากาศกับอนุภาค โดยที่ความดันต่ำได้แก่ 0.3 MPa ฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่และมีจำนวนน้อย ระยะห่างระหว่างฟองอากาศมีช่องว่างมาก ดังนั้นประสิทธิภาพการชนกันระหว่างฟองอากาศกับอนุภาค (Single-Collector Collision Efficiency, SCCE) ที่กำหนดโดยอัตราการชนกันของฟองอากาศและอนุภาค กับอัตราเข้าใกล้กันของฟองอากาศและอนุภาคจึงมีค่าต่ำ โดยอนุภาคจะเล็ดลอดจากการจับติดของฟองอากาศเป็นไปได้อย่างสูง และส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคออกโดยฟองอากาศ (Bubble-Filter Efficiency, BFE) จึงมีค่าต่ำ

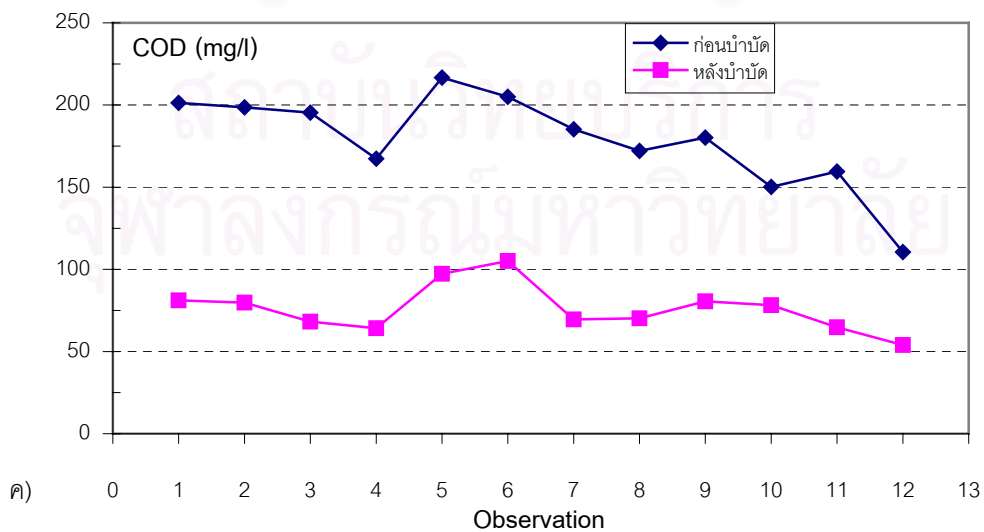
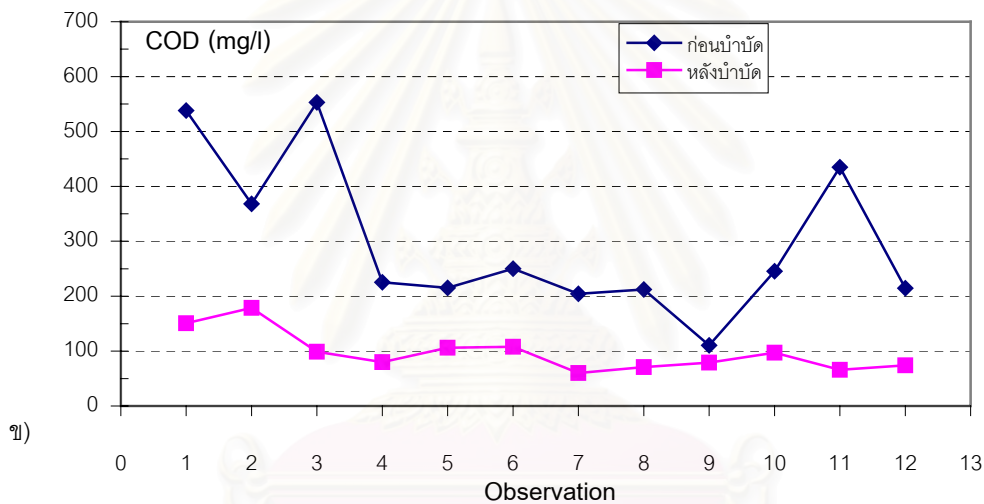
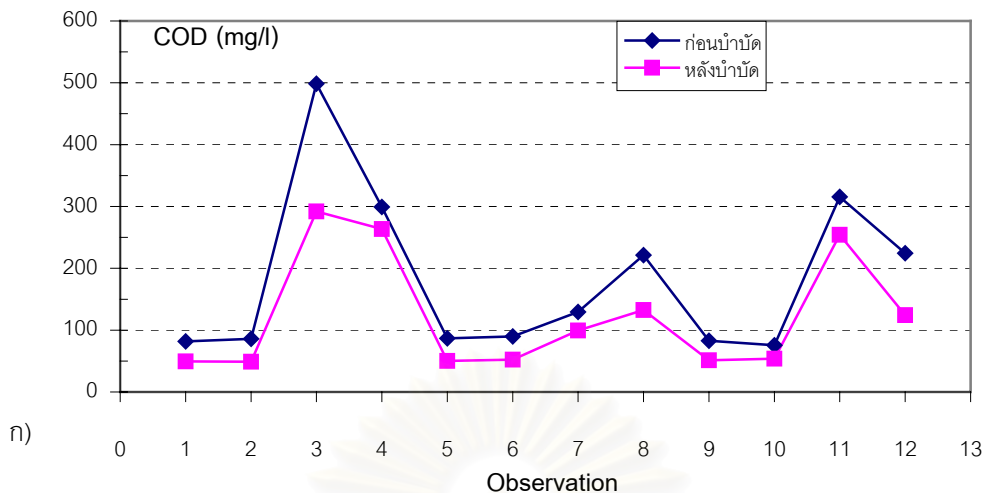
เมื่อเพิ่มความดันสูงขึ้น ขนาดฟองอากาศเล็กลงและมีจำนวนฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น (Feris and Rubio, 1999) ทำให้เกิดการชนกันระหว่างฟองอากาศกับอนุภาคมากขึ้น โดยประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีได้แก่ ความดัน 0.4 MPa และ 0.5 MPa ฟองอากาศสามารถเกาะจับกับอนุภาคสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้ดี และจากการทดลองที่ความดันมากกว่า 0.5 MPa ฟองอากาศจะมีขนาดเล็กมาก ความเร็วในการลอยขึ้นต่ำ มีฟองอากาศบางส่วนเกาะอยู่ตามผนังบ่อทำให้จำนวนของฟองอากาศที่จะจับติดอนุภาคให้ลอยขึ้นเพื่อกำจัด มีปริมาณลดลงส่งผลให้ค่า SCCE และค่า BFE มีค่าต่ำ

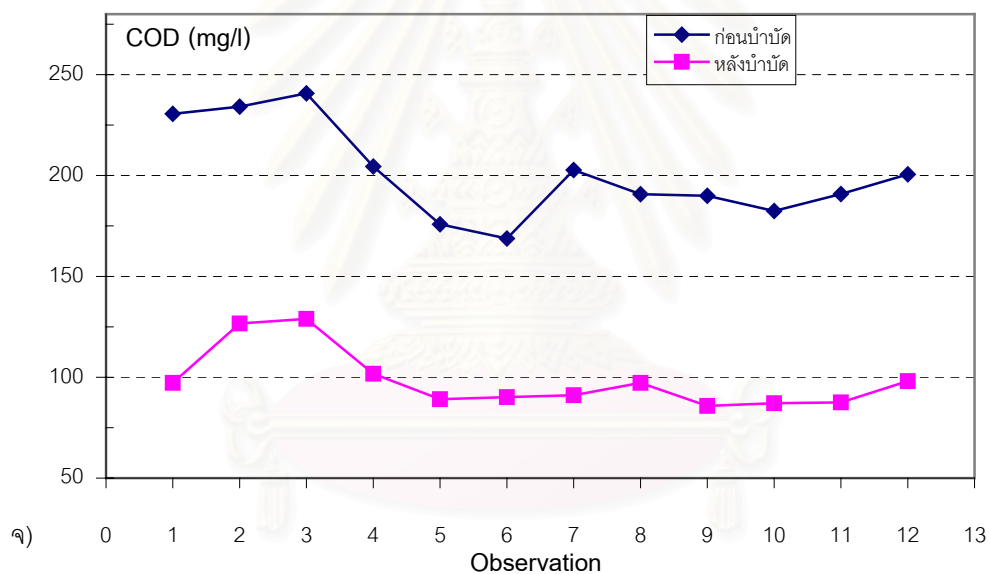
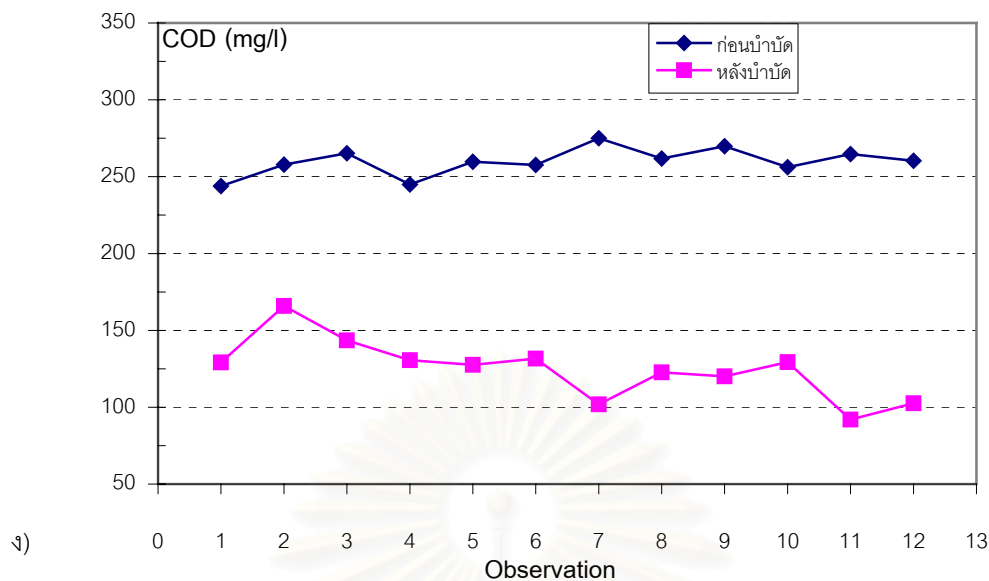
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความดันที่เหมาะสมใน DAF คือความดัน 0.4 MPa เพราะทำให้ DAF ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพดี โดยไม่ต้องเปลืองค่าใช้ไฟฟ้า เนื่องจากการเพิ่มแรงอัดมากกว่า 0.4 MPa ไม่มีผลทำให้การกำจัด COD ได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามความดันดังกล่าวข้างต้นจะส่งผลให้

ประสิทธิภาพการกำจัด COD ได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับค่าหนึ่งถึงลักษณะของอนุภาคในน้ำเสีย อันได้แก่ ปริมาณและการกระจายขนาดอนุภาค รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่าง COD กับอนุภาคที่แขวนลอย อยู่ และปริมาณน้ำมันกับไขมัน ซึ่งจะเข้าใจได้ดียิ่งขึ้นเมื่อพิจารณาผลการบำบัดของแข็งแขวนลอย และการบำบัดน้ำมันและไขมันร่วมด้วย

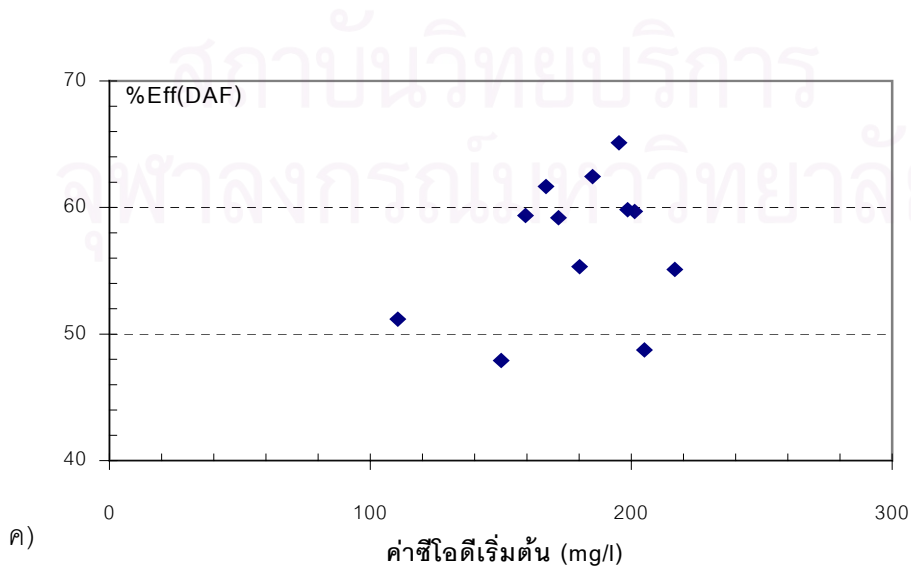
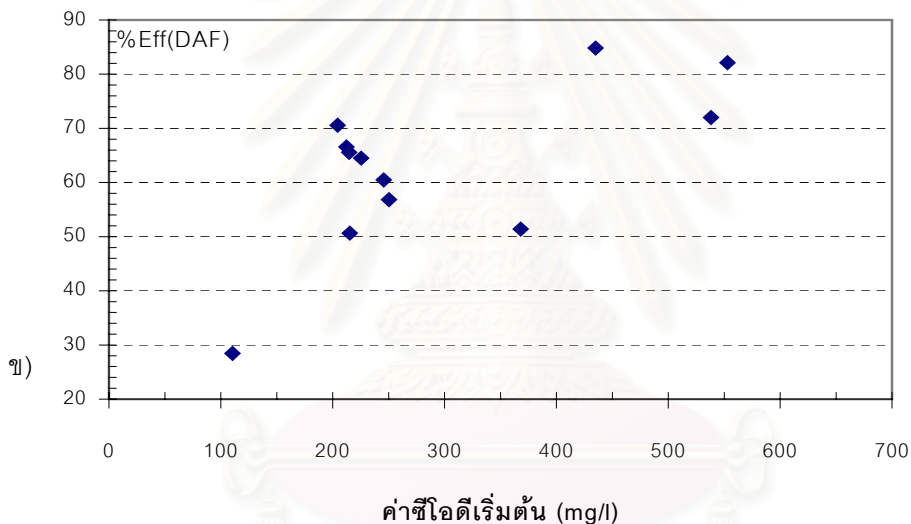
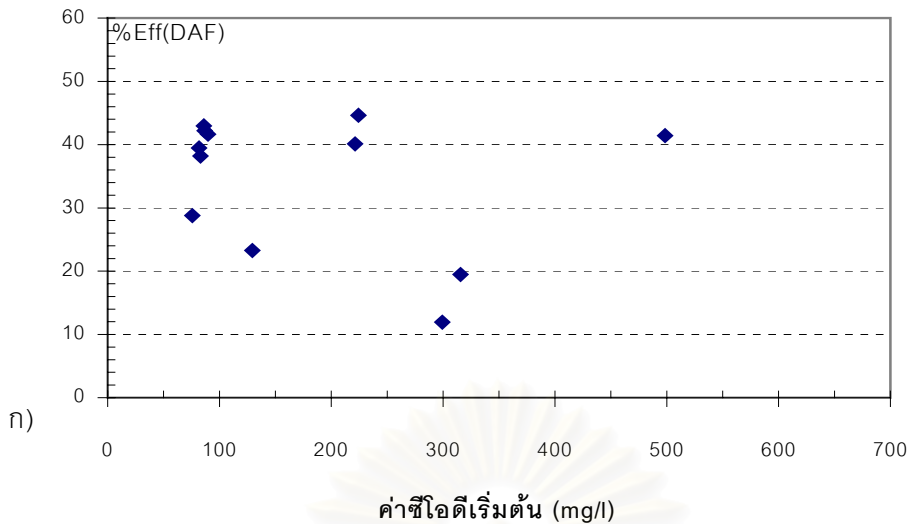


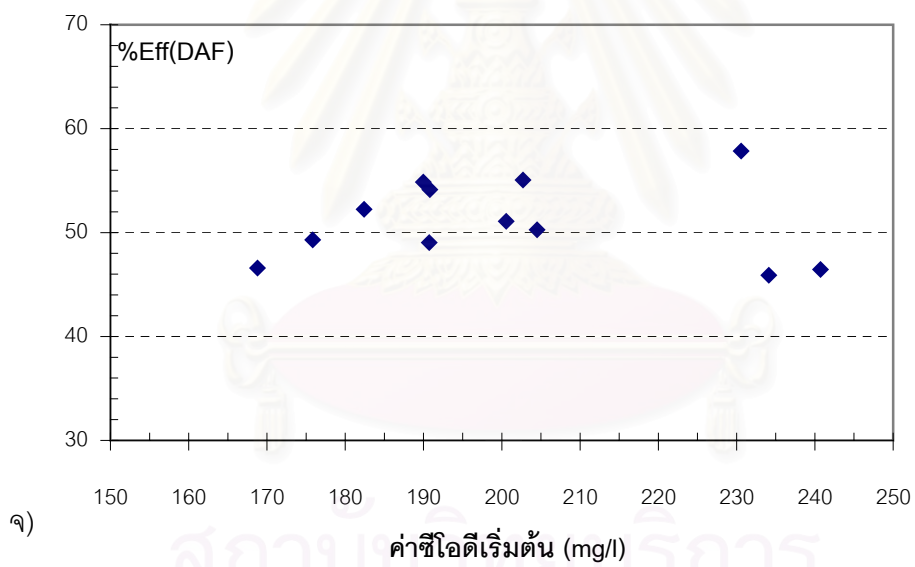
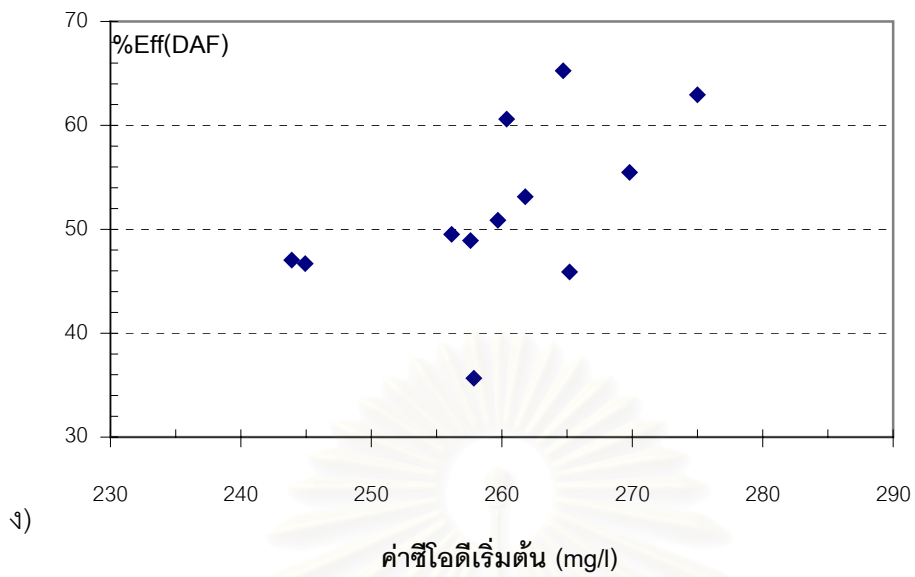
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



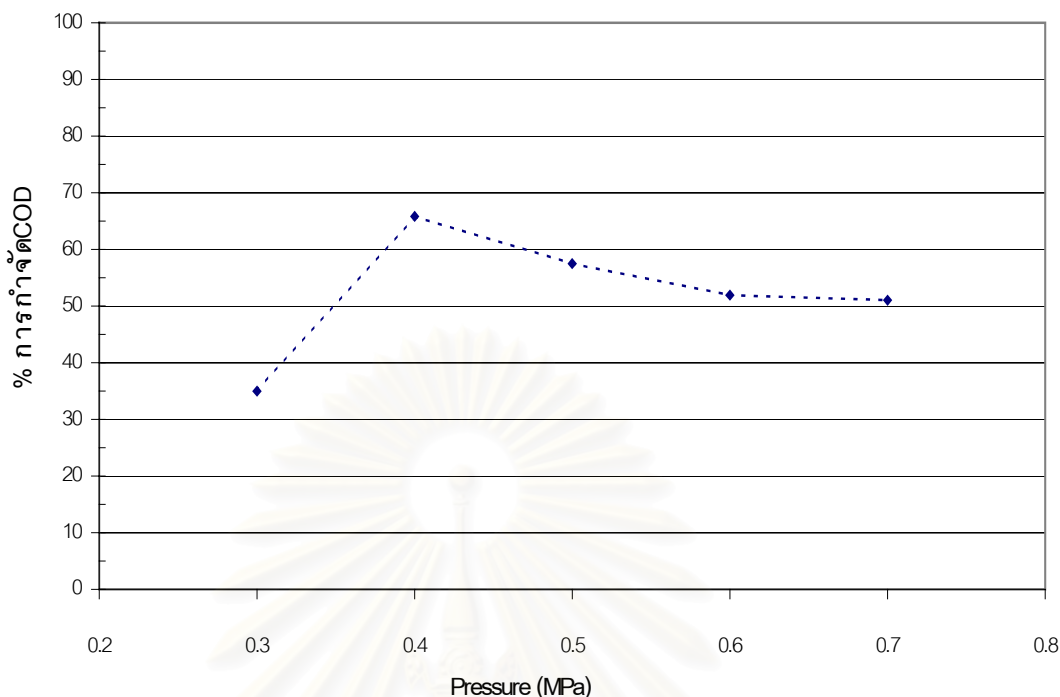


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าซีโอดีของน้ำก่อนบำบัดและหลังการบำบัดด้วย DAF ที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ ก) 0.3 MPa, ข) 0.4 MPa, ค) 0.5 MPa, ง) 0.6 MPa, จ) 0.7 MPa





รูปที่ 4.8 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดโดย DAF กับ ค่าซีโอดีเริ่มต้นที่ความดัน ของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ ก) 0.3 MPa, ข) 0.4 MPa, ค) 0.5 MPa, ง) 0.6 MPa, จ) 0.7 MPa



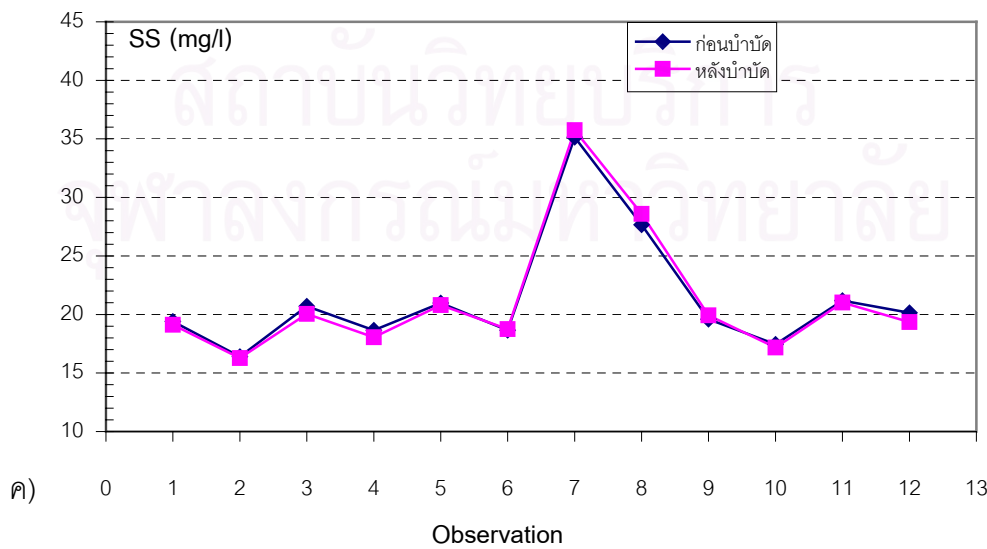
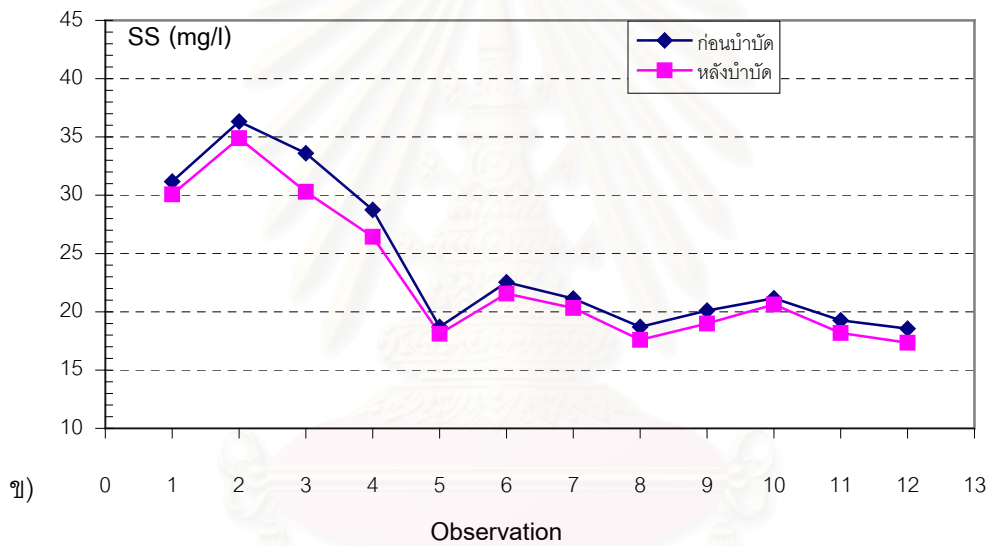
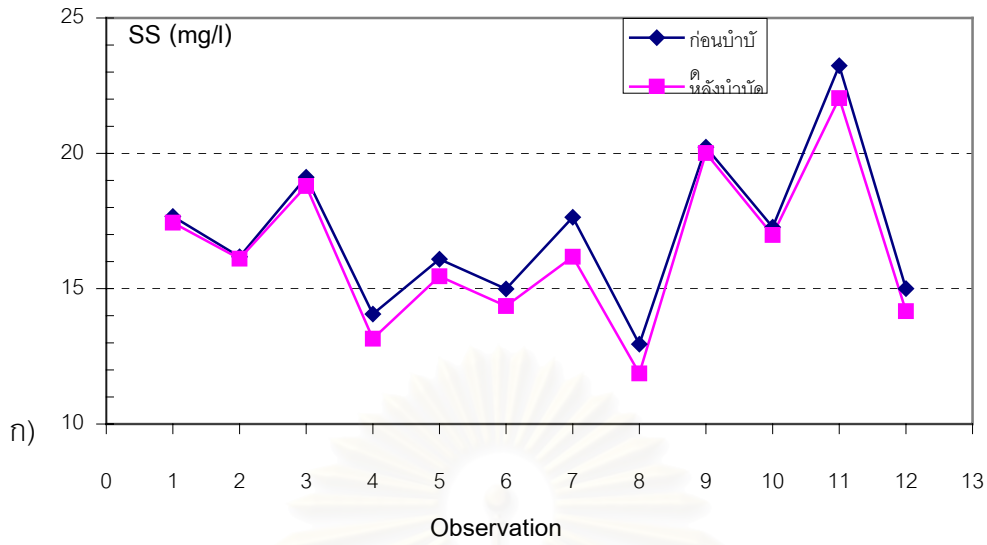
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความดันในการอัดอากาศต่างๆ

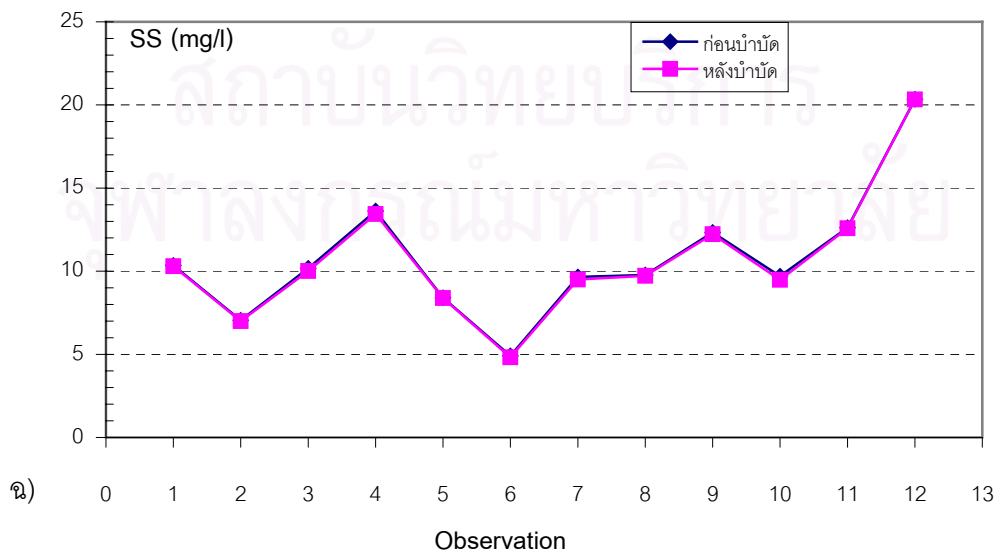
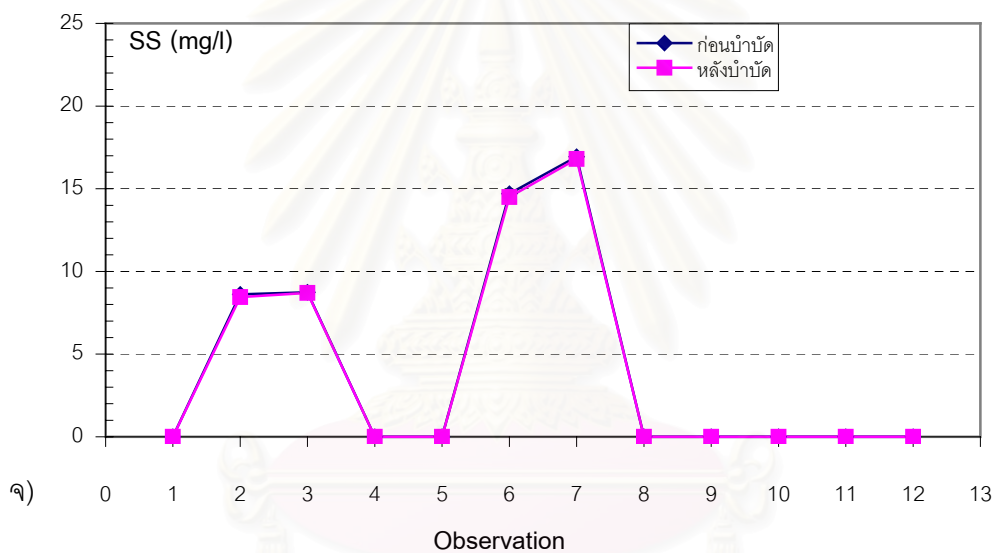
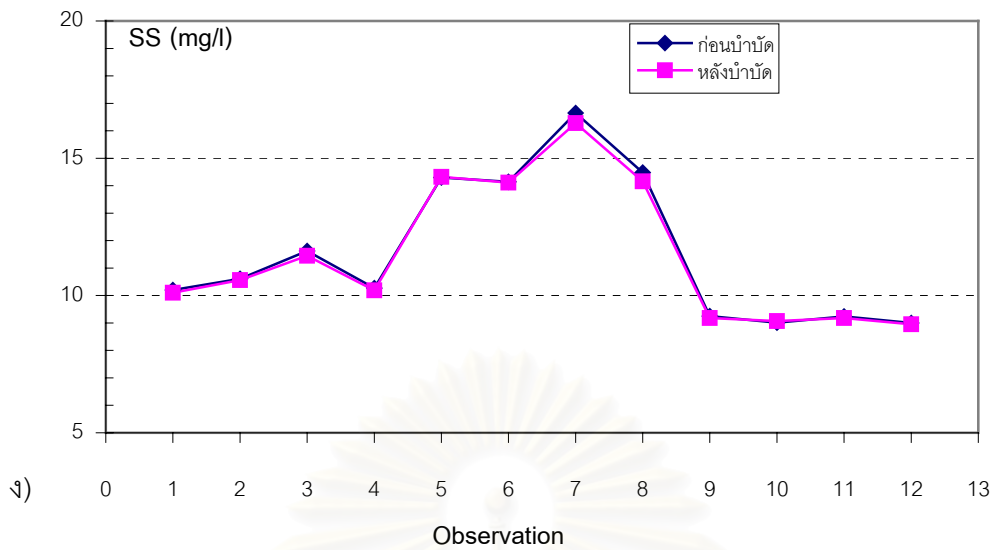
4.4 ผลของความดันต่อค่าของแข็งแขวนลอย

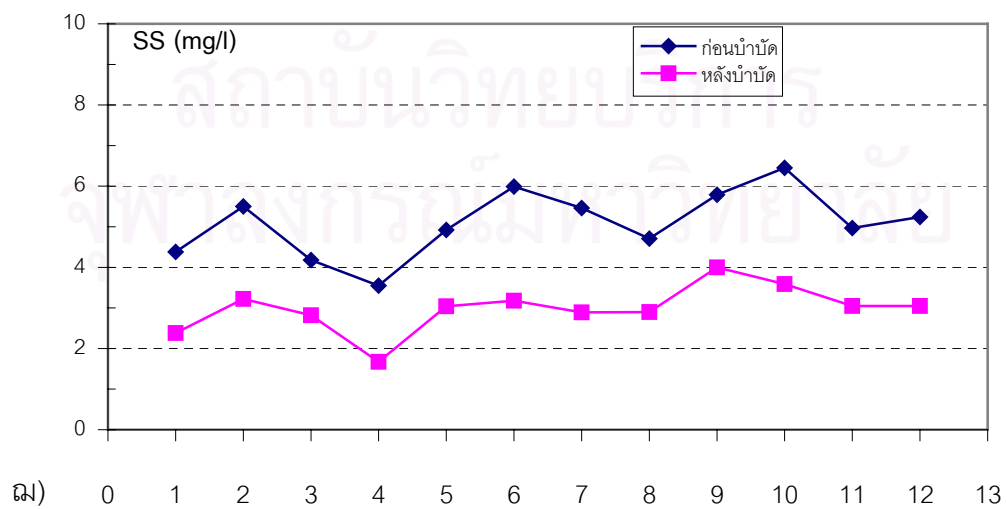
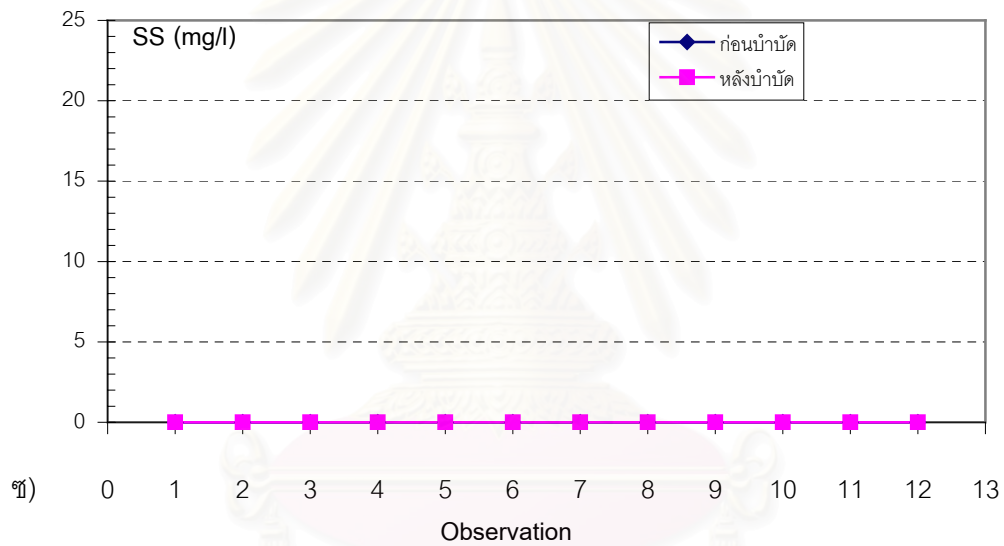
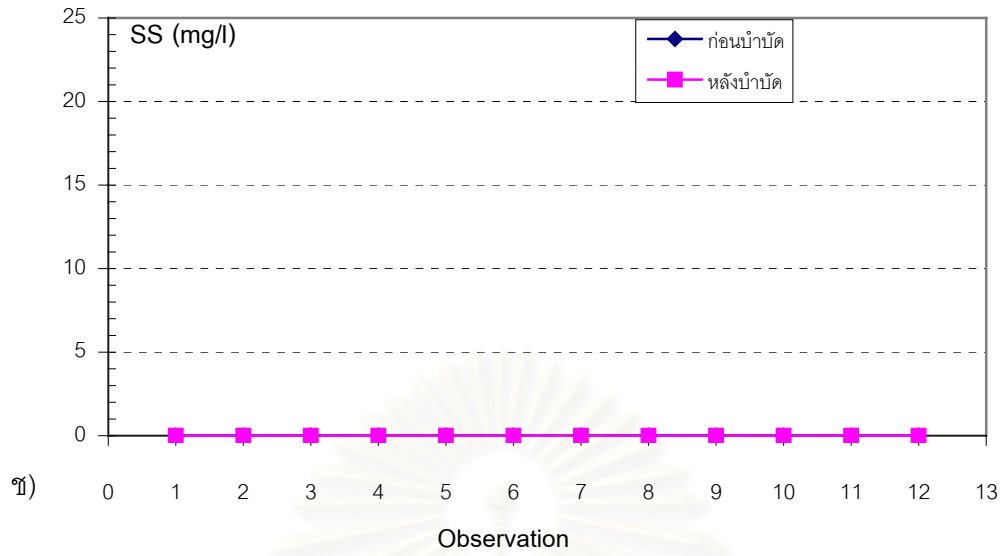
ผลของความดันต่อค่าของแข็งแขวนลอย พิจารณาได้ ดังนี้

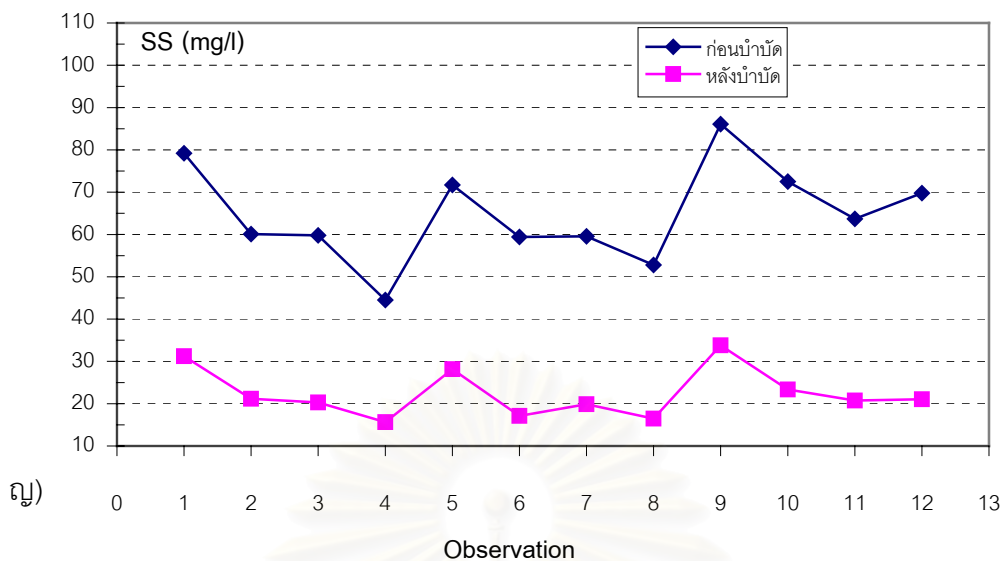
4.4.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่กำจัดได้หลังการบำบัดด้วย DAF (Suspension Solids loading)

จากการศึกษาการบำบัดค่าของแข็งแขวนลอยโดย DAF ที่ความดันต่าง ๆ แสดงในกราฟรูปที่ 4.10-4.14 พบว่า DAF สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยที่อนุภาคขนาด 20 ไมครอน ได้ดีที่สุด โดยปริมาณของค่าของแข็งแขวนลอยลดลงอย่างชัดเจนทุกค่าความดันที่ใช้ ในขณะที่ปริมาณอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมครอน จะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากกลไกการทำงานของ DAF ในส่วนสัมผัส ที่ทำให้เกิดการชนเกาะติดกันระหว่างฟองอากาศกับอนุภาค และการทำงานของ DAF ในส่วนแยกซึ่งอนุภาคกับฟองอากาศลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้การทำงานของ DAF ทั้งสองส่วนเป็นไปได้อย่างดี คือ ขนาดของอนุภาค และ ขนาดและจำนวนของฟองอากาศ โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างฟองอากาศกับอนุภาคดีกว่าอนุภาคขนาดเล็ก รวมทั้งฟองอากาศต้องมีขนาดโตพอที่จะพาอนุภาคลอยขึ้นสู่ผิวน้ำได้ แต่ถ้าฟองอากาศมีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้ความเร็วในการลอยขึ้นสูงจนอนุภาคไม่สามารถจะชนและเกาะติดไปได้ กลไกการเกิดการชนกันระหว่างอนุภาคกับฟองอากาศต่ำ ทำให้ DAF ทำงานมีประสิทธิภาพลดลง

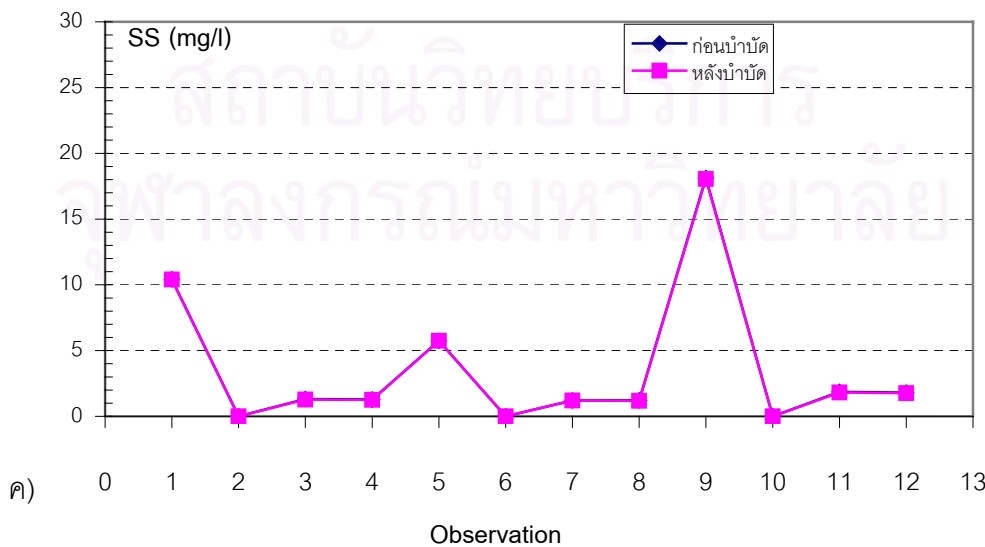
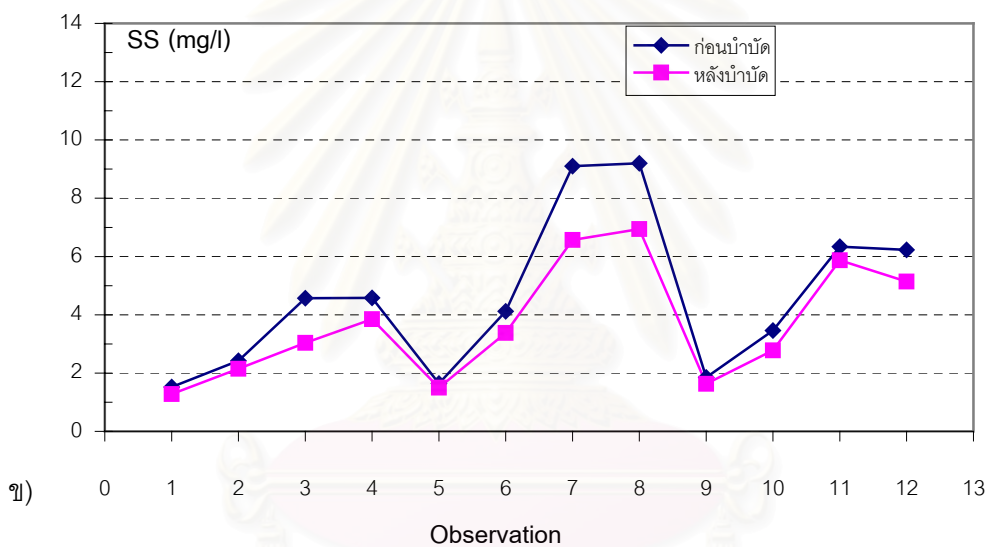
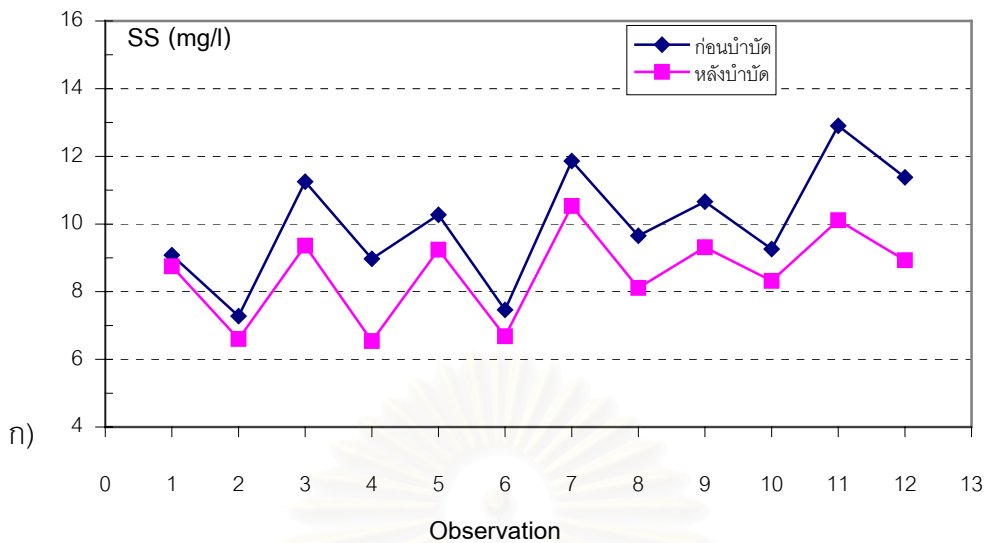


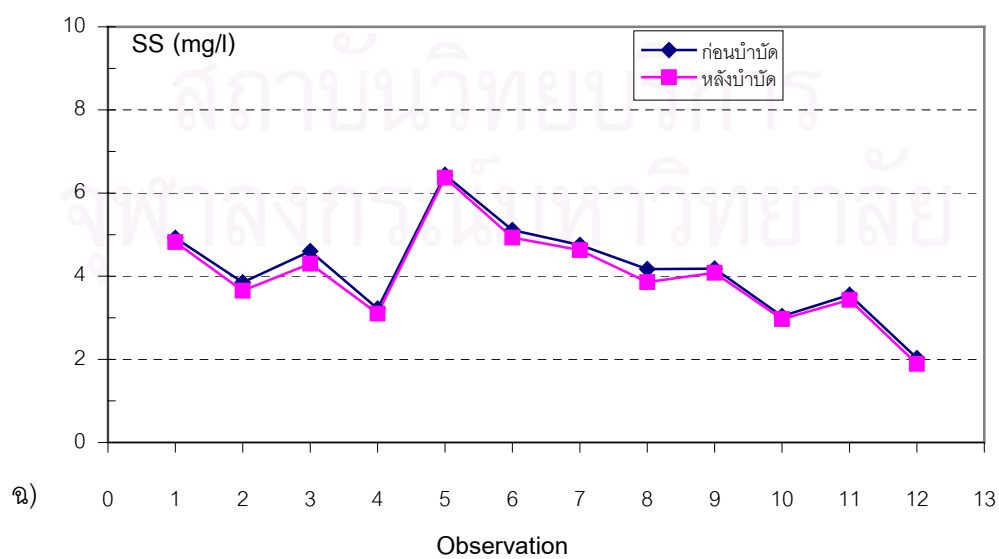
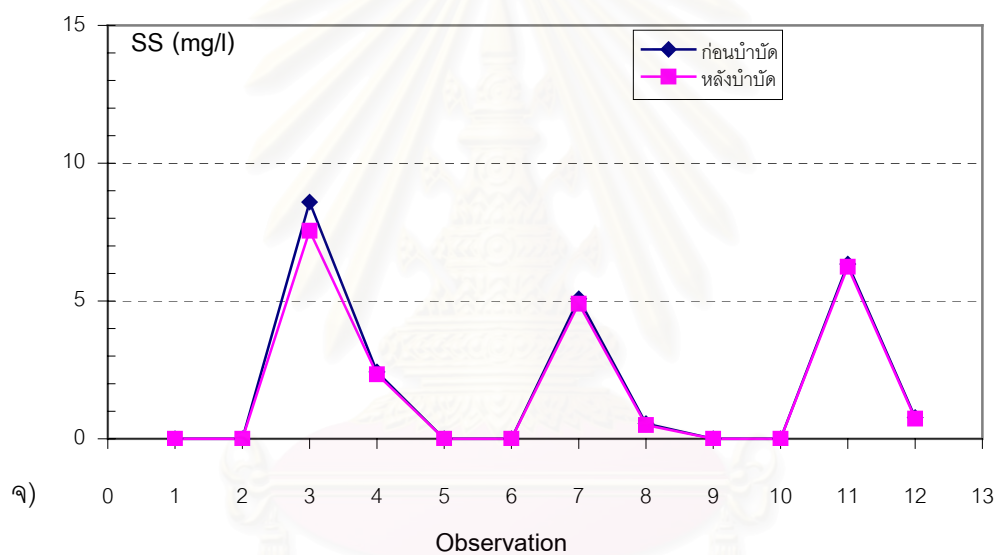
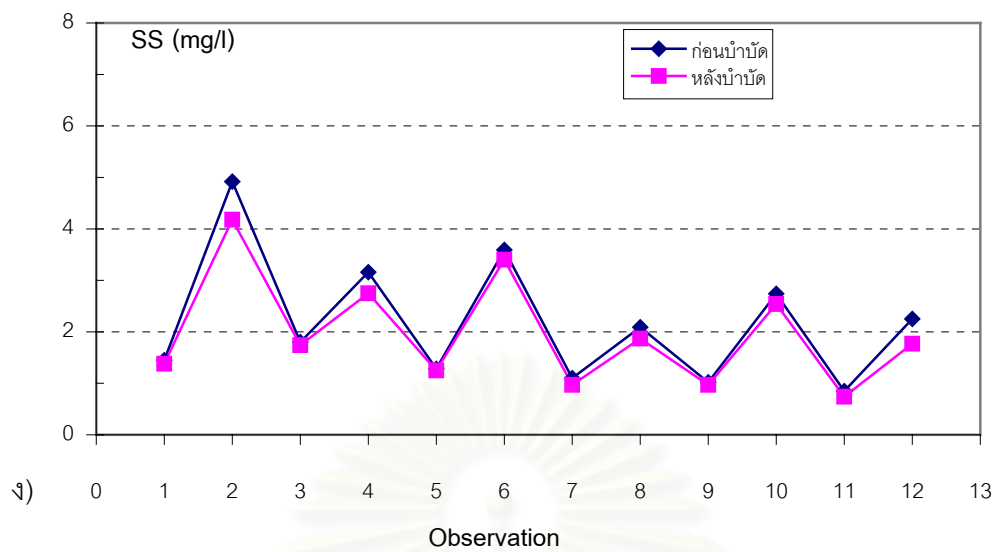


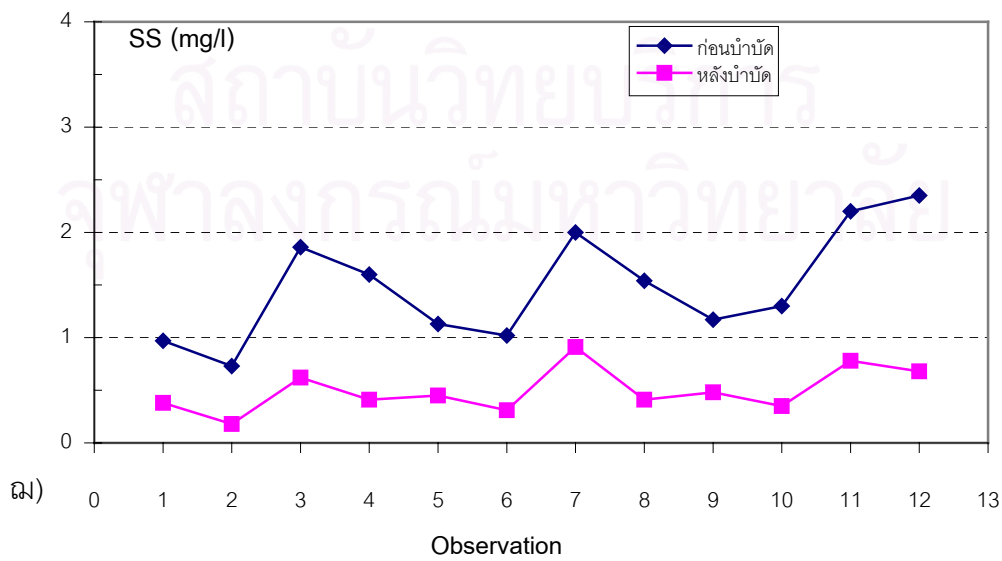
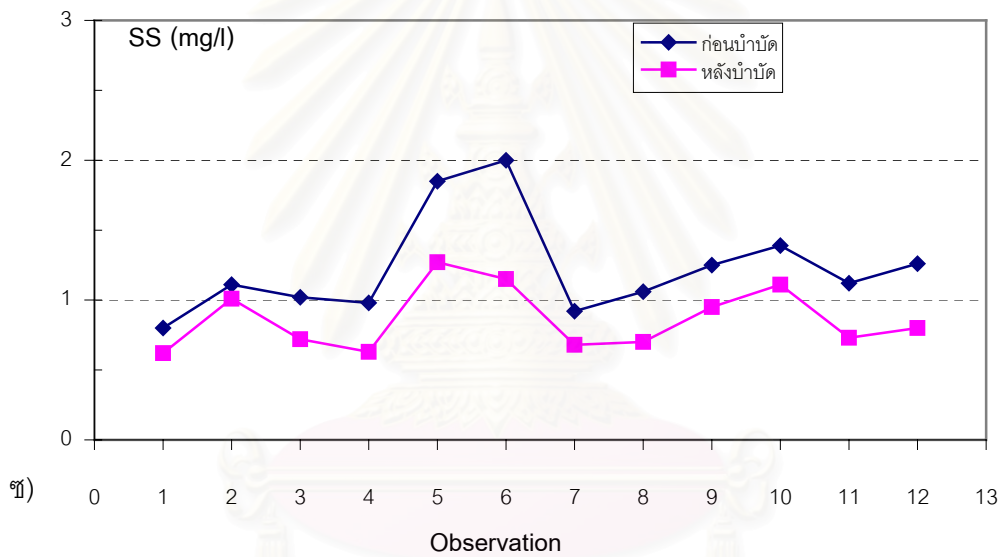
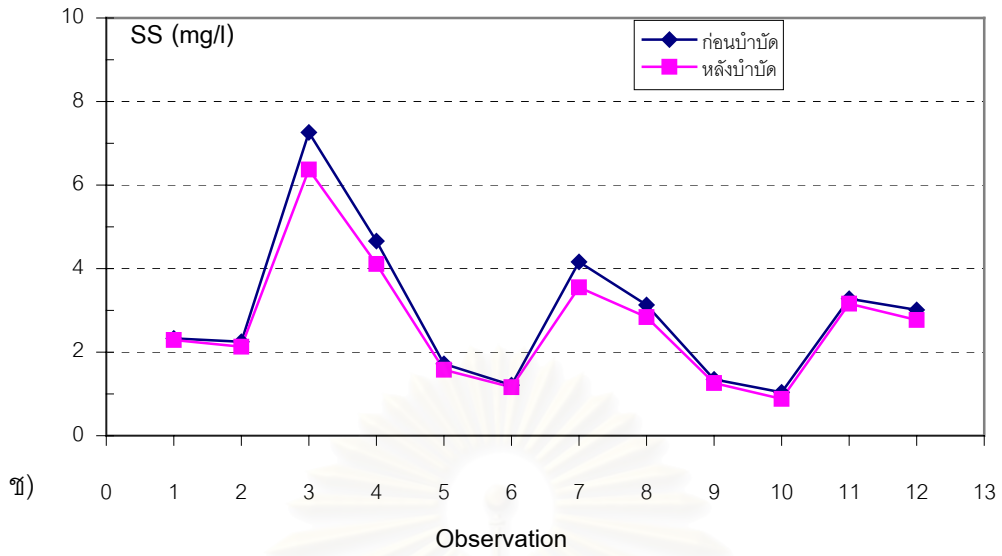


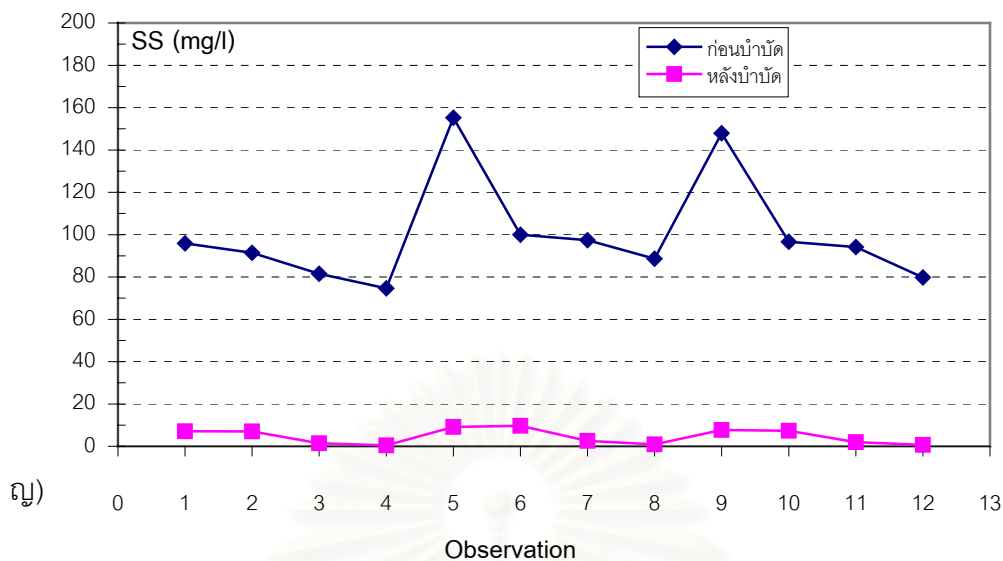


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำก่อนและหลังการบำบัดโดย DAF ที่ความดัน 0.3 MPa ก) 0.71-1.0 ไมครอน, ข) 1.01-1.2 ไมครอน, ค) 1.21-1.6 ไมครอน, ง) 1.61-2.5 ไมครอน, จ) 2.51-2.7 ไมครอน, ฉ) 2.71-6.0 ไมครอน, ช) 6.01-8.0 ไมครอน, ซ) 8.01-11.0 ไมครอน, ฌ) 11.01-20 ไมครอน, ฎ) มากกว่า 20.0 ไมครอน

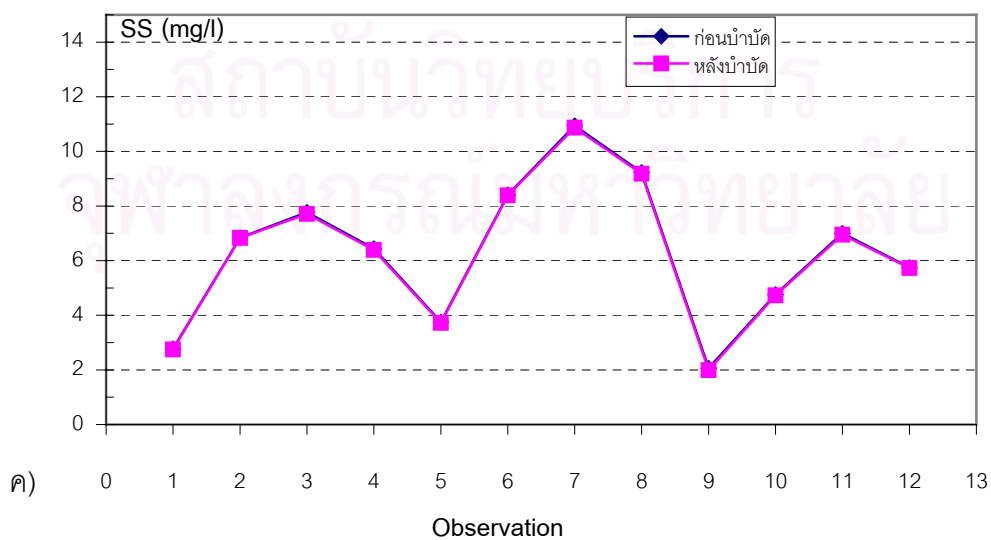
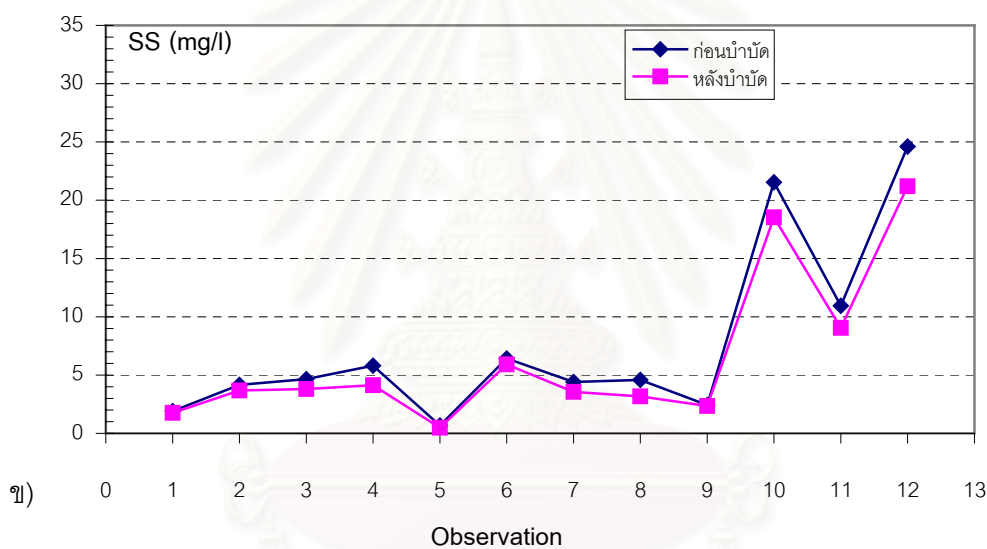
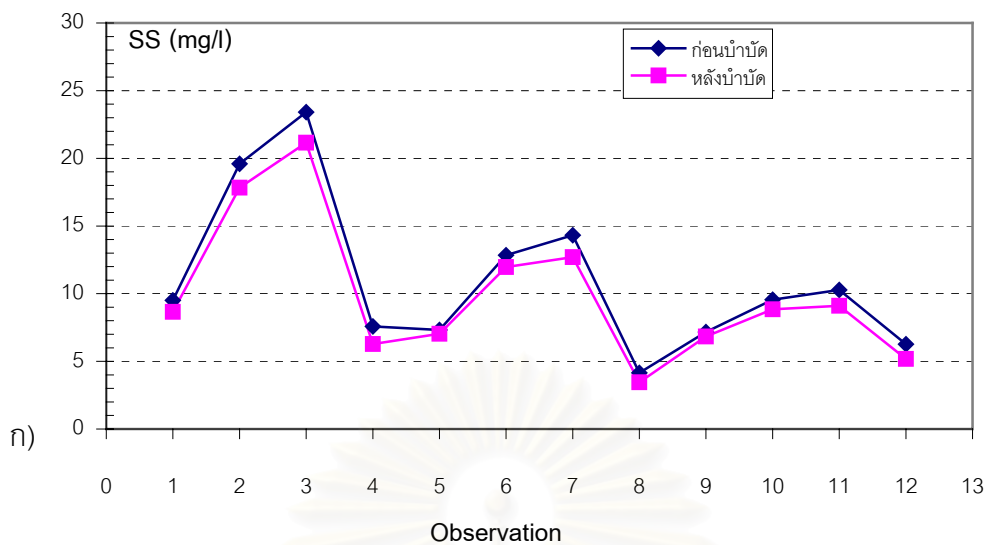


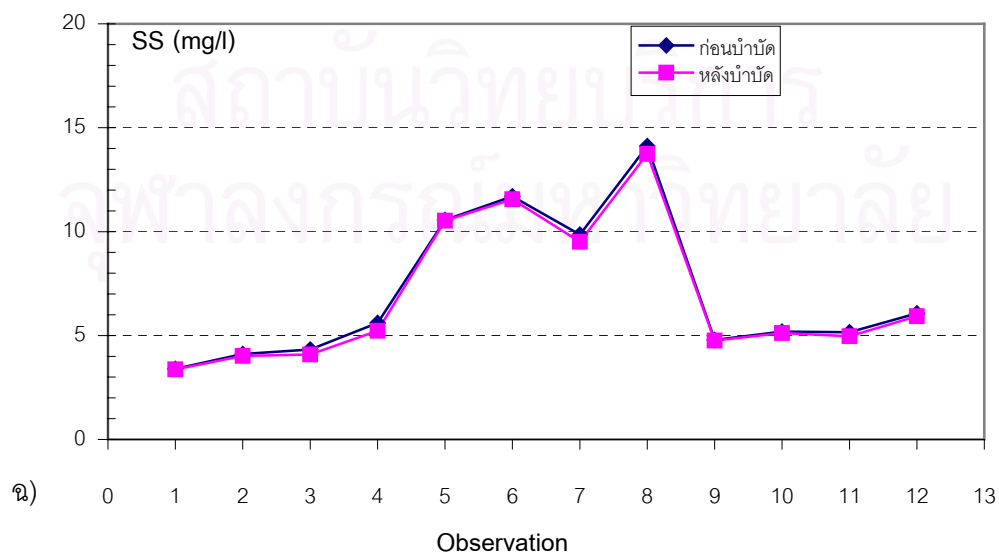
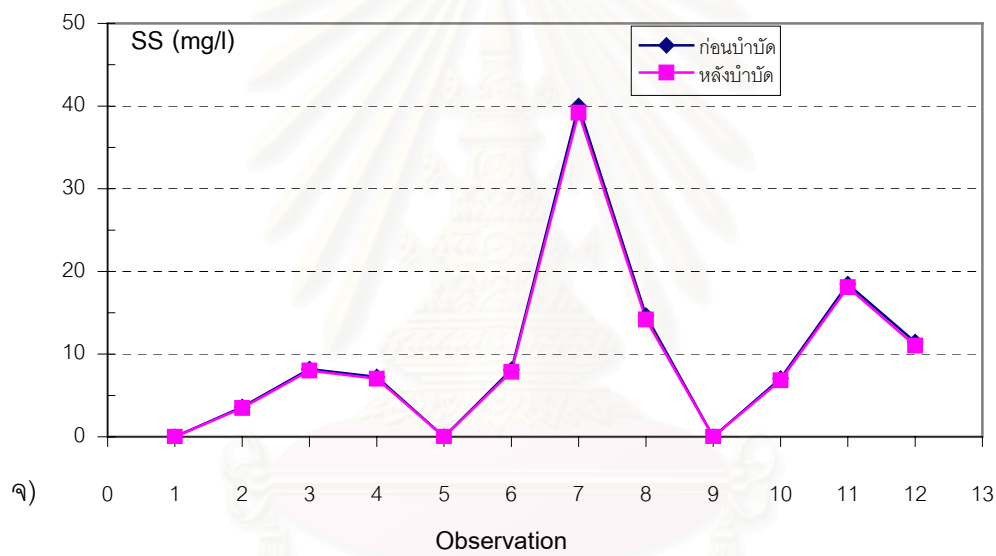
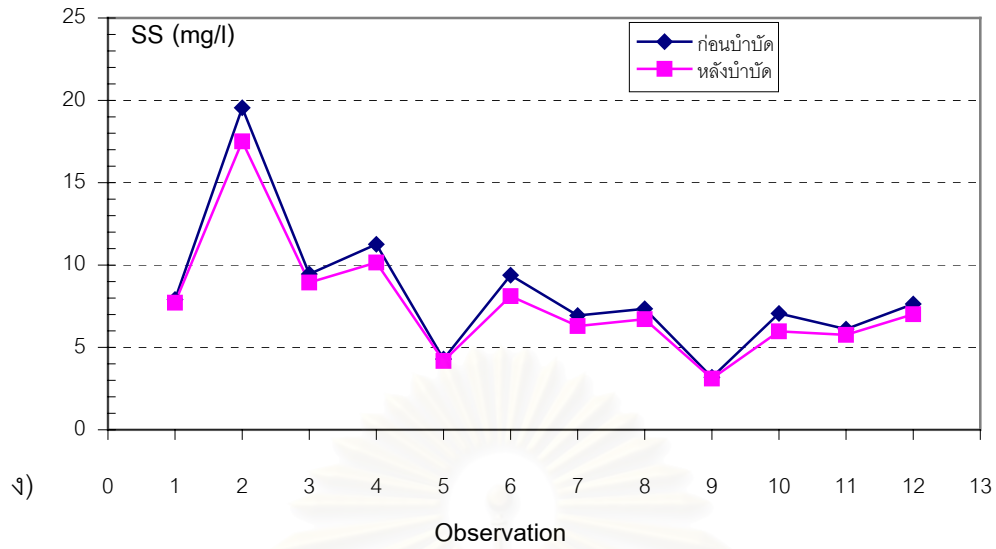


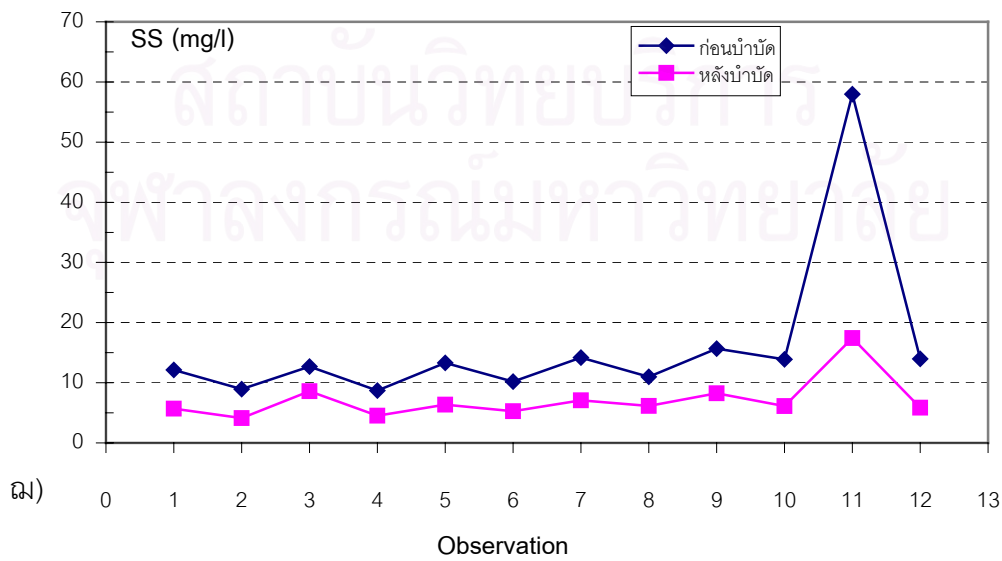
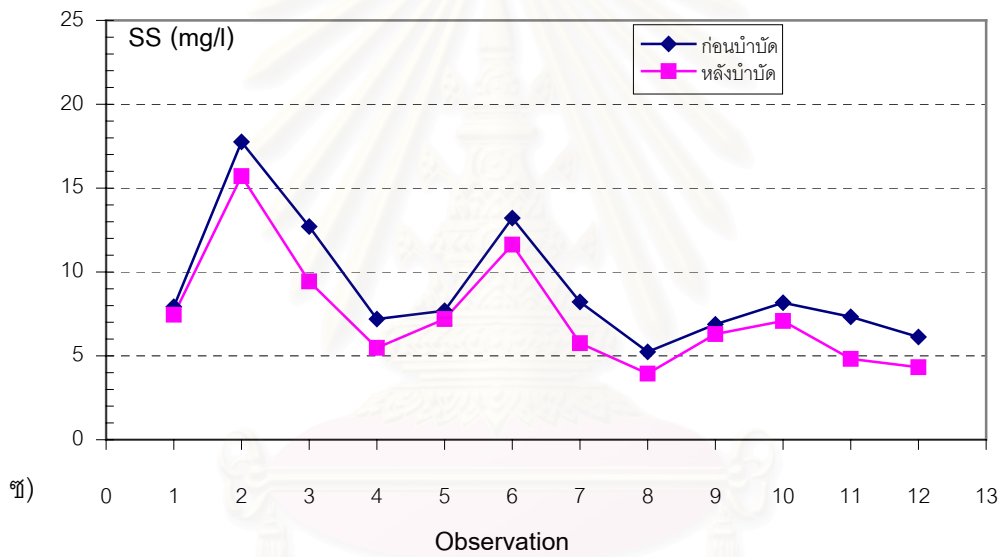
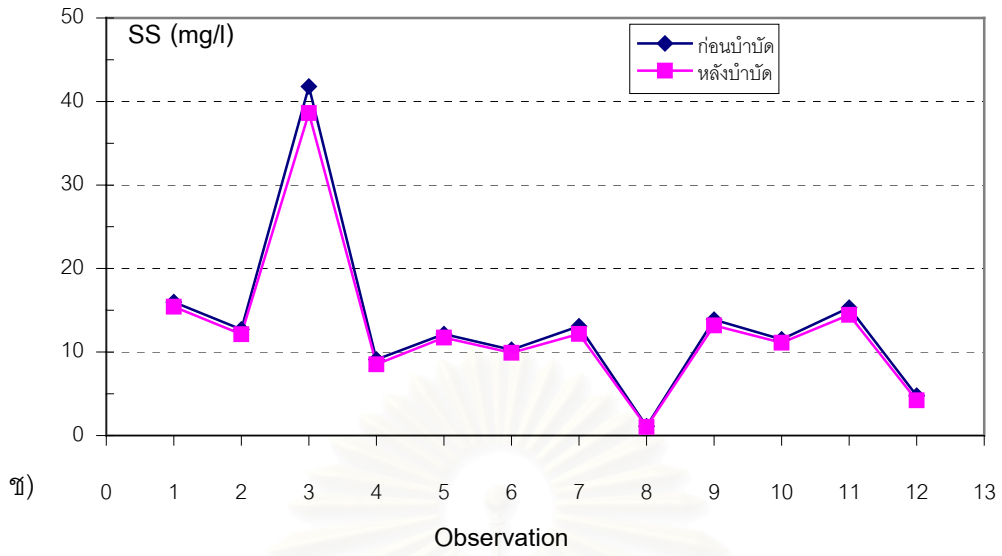


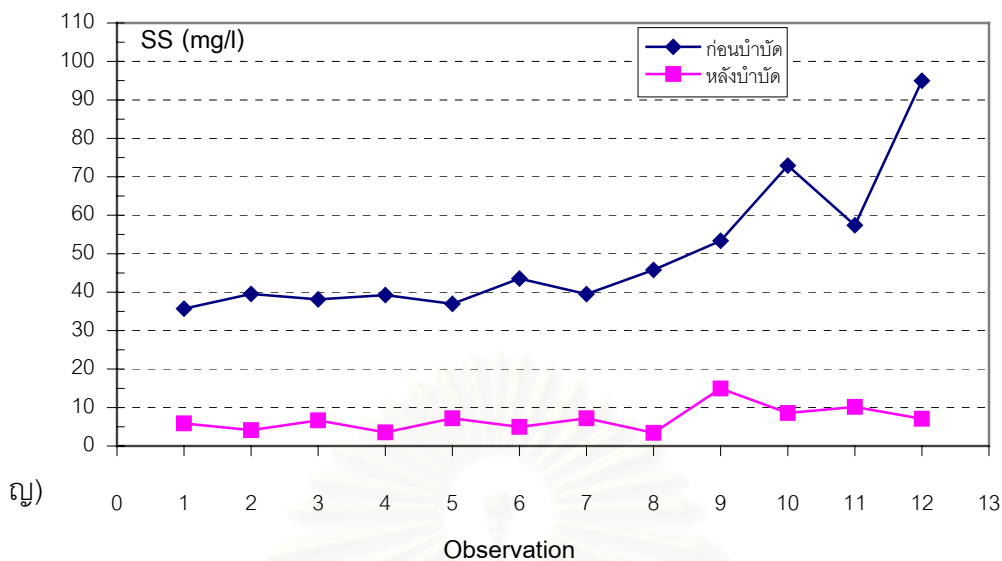


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำก่อนและหลังการบำบัดโดย DAF ที่ความดัน 0.4 MPa ก) 0.71-1.0 ไมครอน, ข) 1.01-1.2 ไมครอน, ค) 1.21-1.6 ไมครอน, ง) 1.61-2.5 ไมครอน, จ) 2.51-2.7 ไมครอน, ฉ) 2.71-6.0 ไมครอน, ช) 6.01-8.0 ไมครอน, ซ) 8.01-11.0 ไมครอน, ฌ) 11.01-20 ไมครอน, ฎ) มากกว่า 20.0 ไมครอน

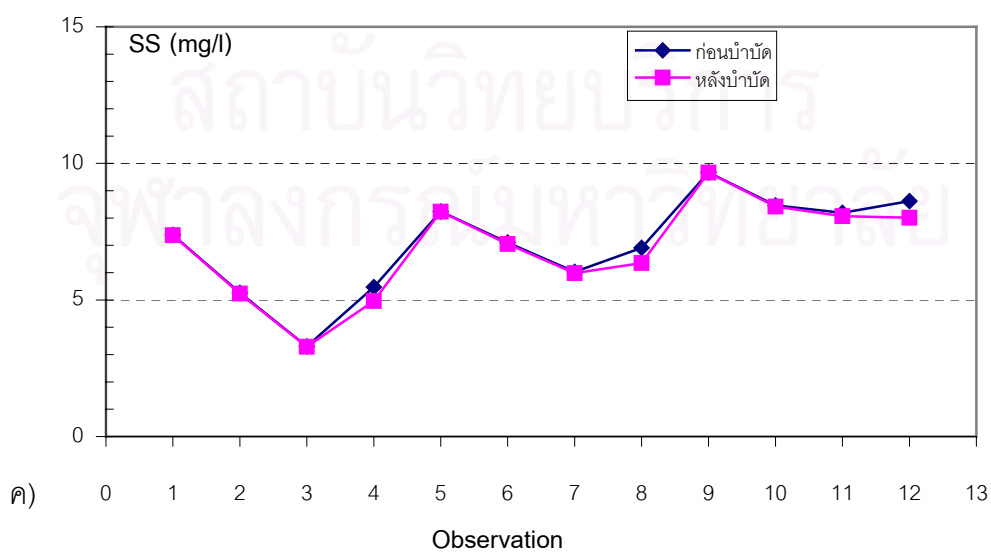
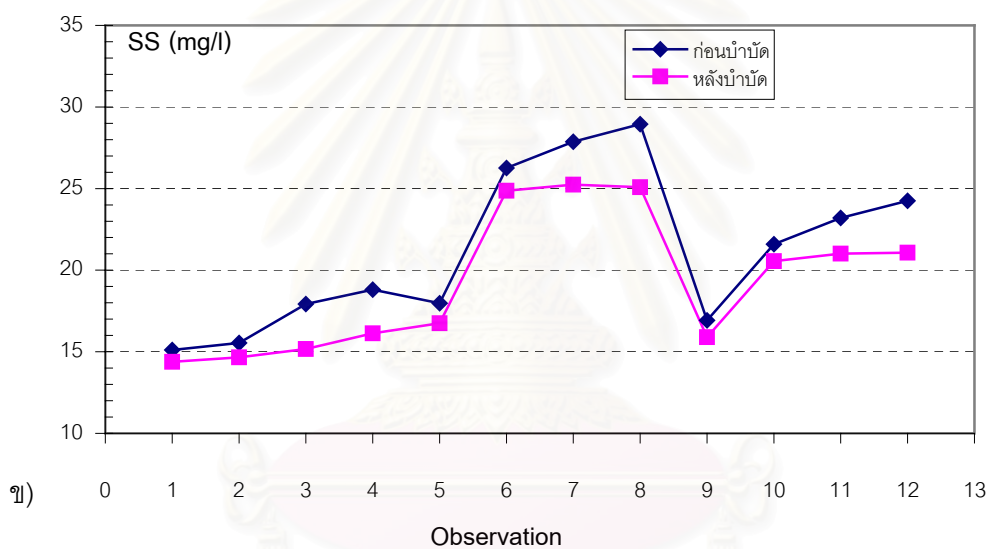
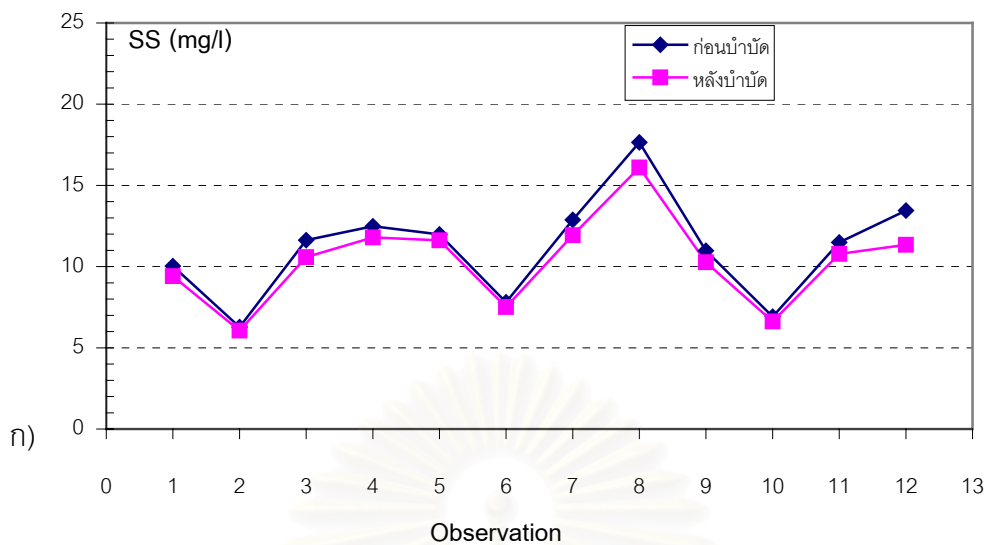


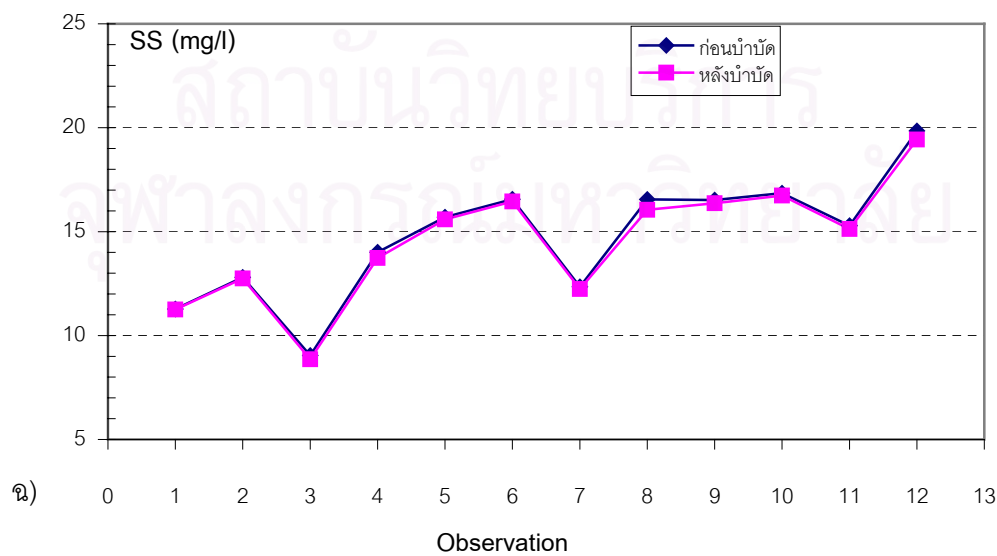
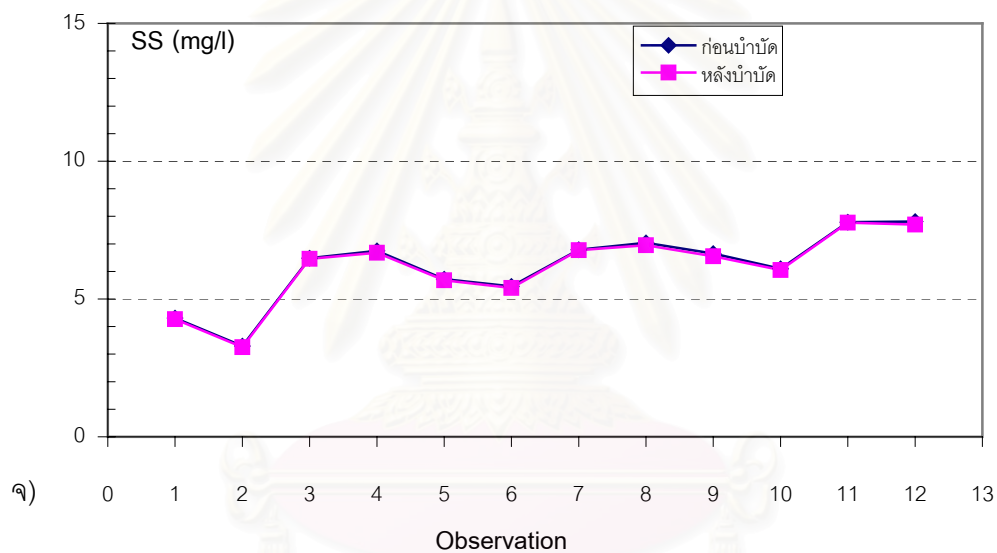
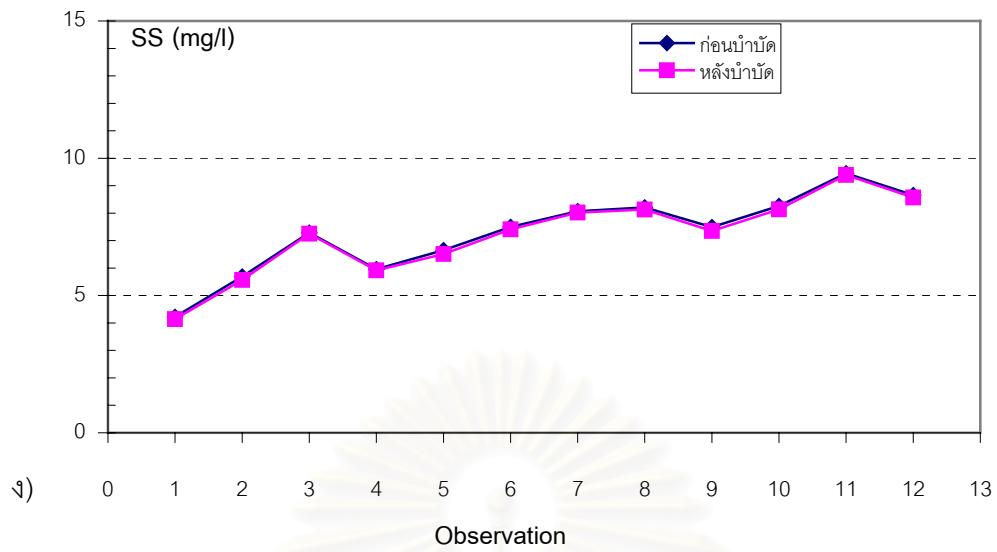


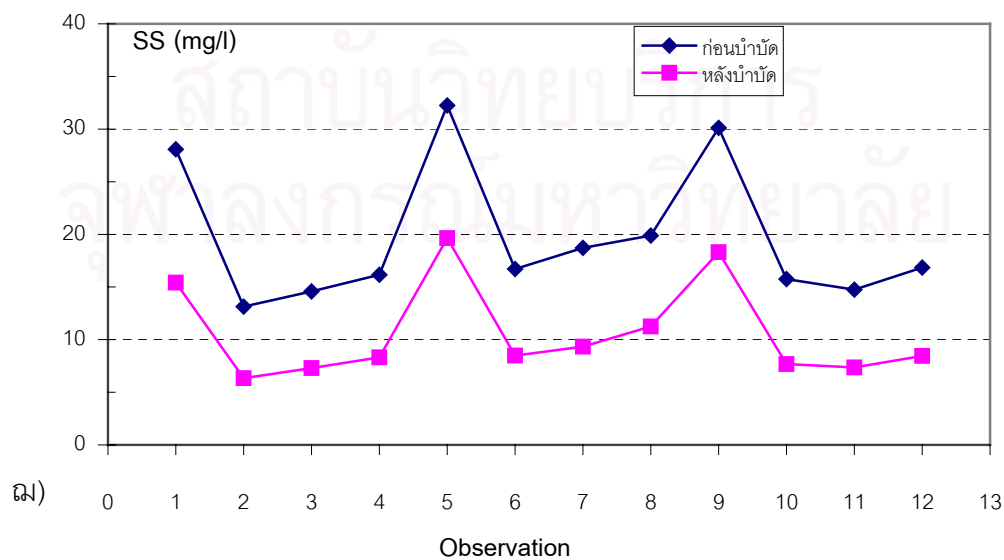
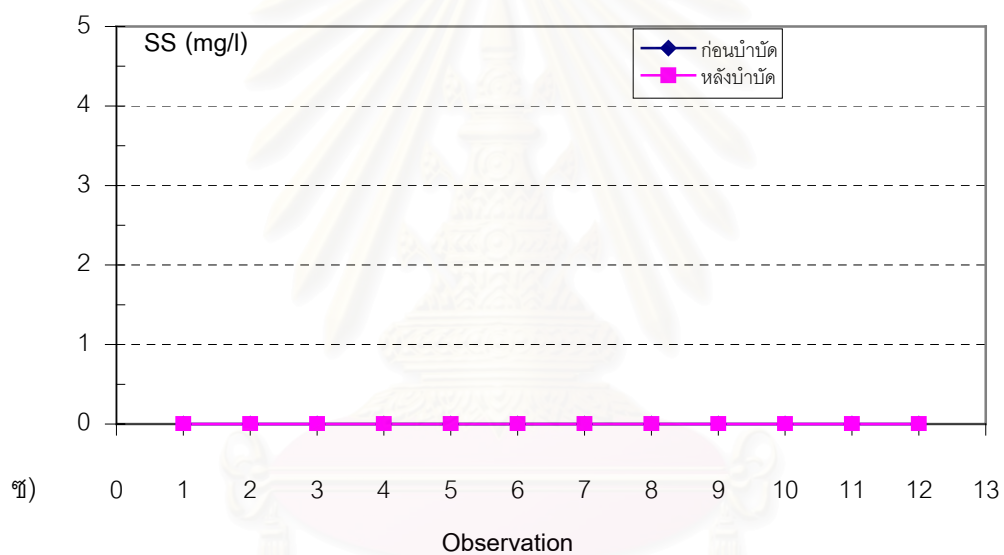
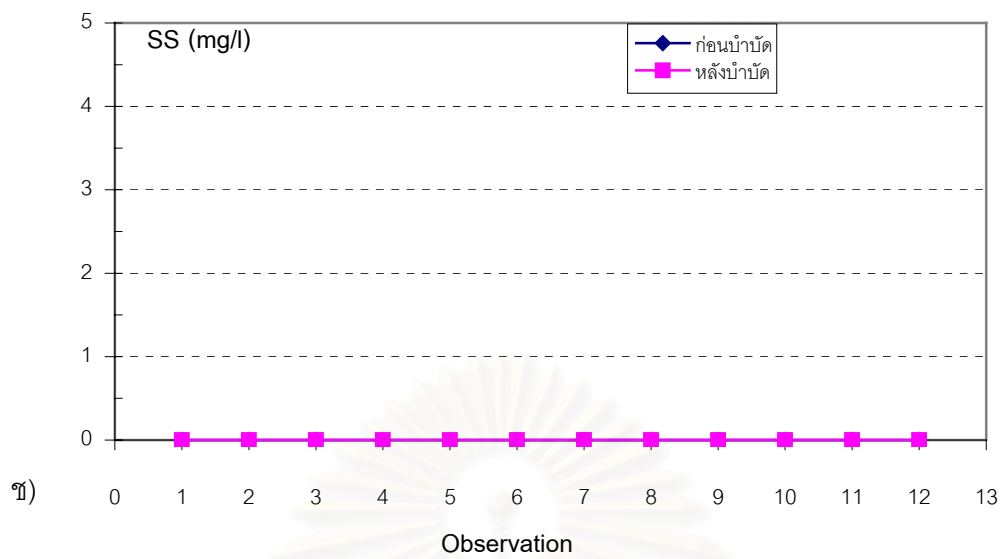


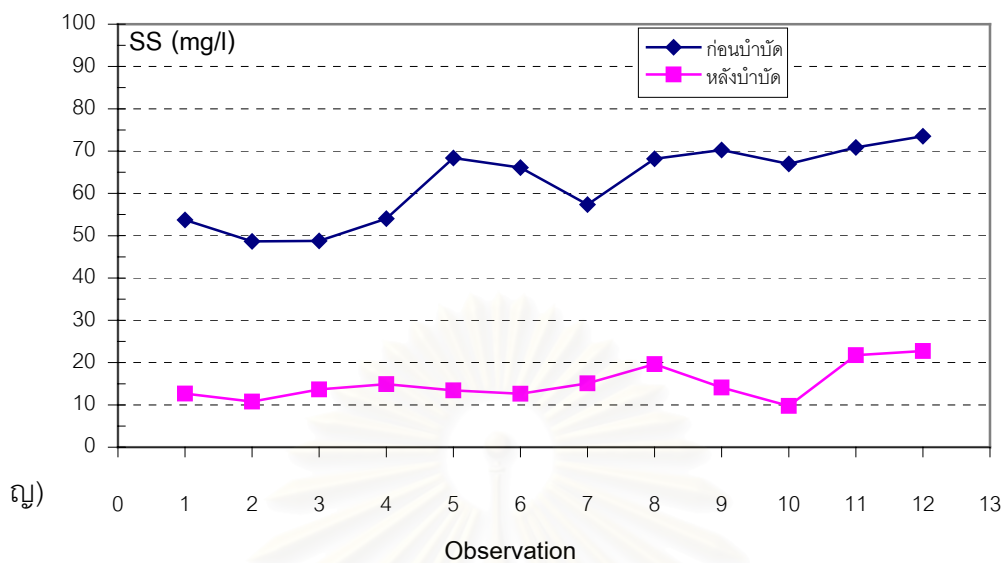


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำก่อนและหลังการบำบัดโดย DAF ที่ความดัน 0.5 MPa ก) 0.71-1.0 ไมครอน, ข) 1.01-1.2 ไมครอน, ค) 1.21-1.6 ไมครอน, ง) 1.61-2.5 ไมครอน, จ) 2.51-2.7 ไมครอน, ฉ) 2.71-6.0 ไมครอน, ช) 6.01-8.0 ไมครอน, ซ) 8.01-11.0 ไมครอน, ฌ) 11.01-20 ไมครอน, ฎ) มากกว่า 20.0 ไมครอน

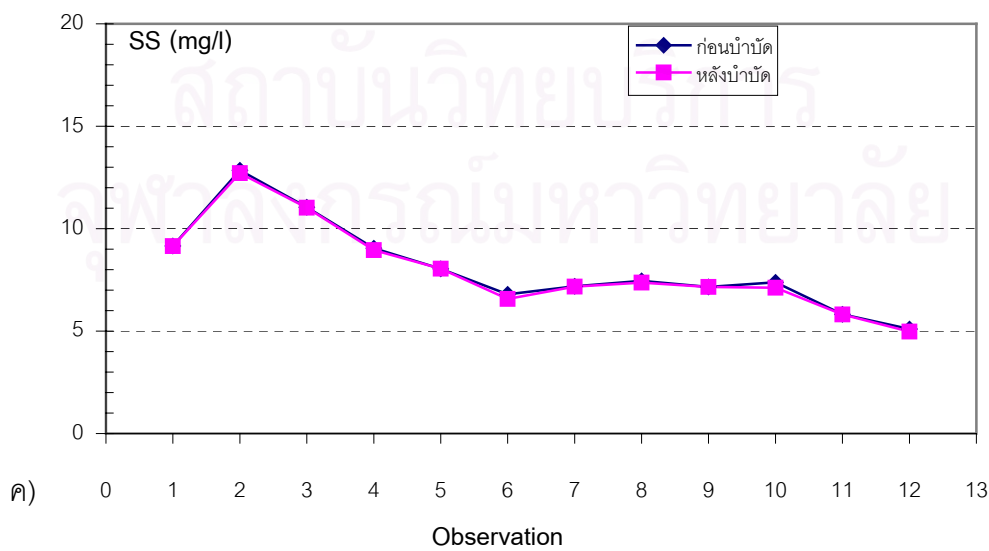
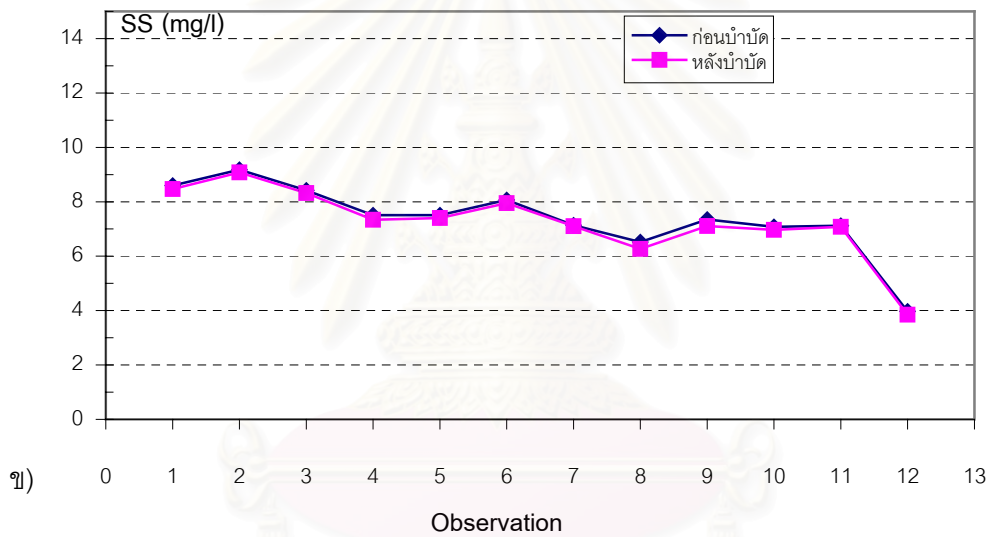
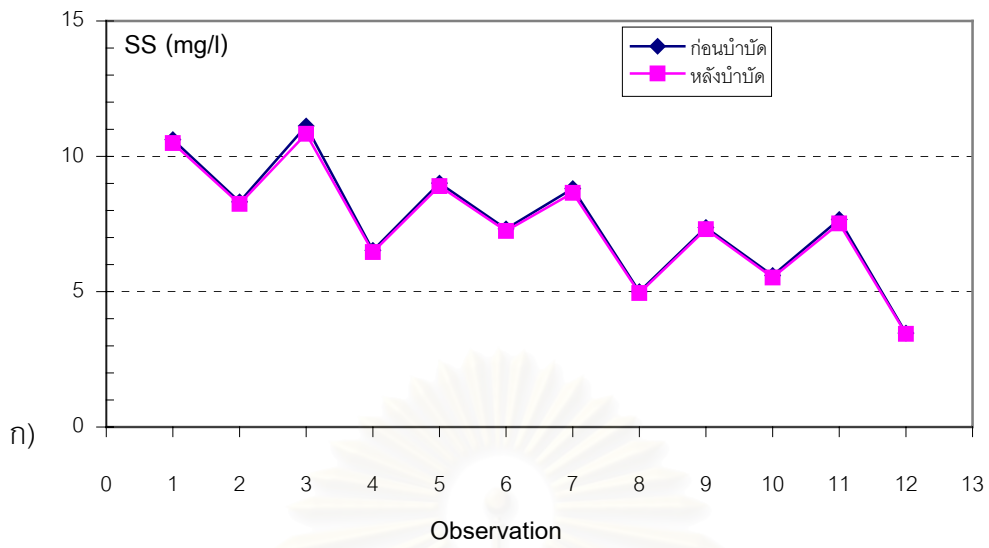


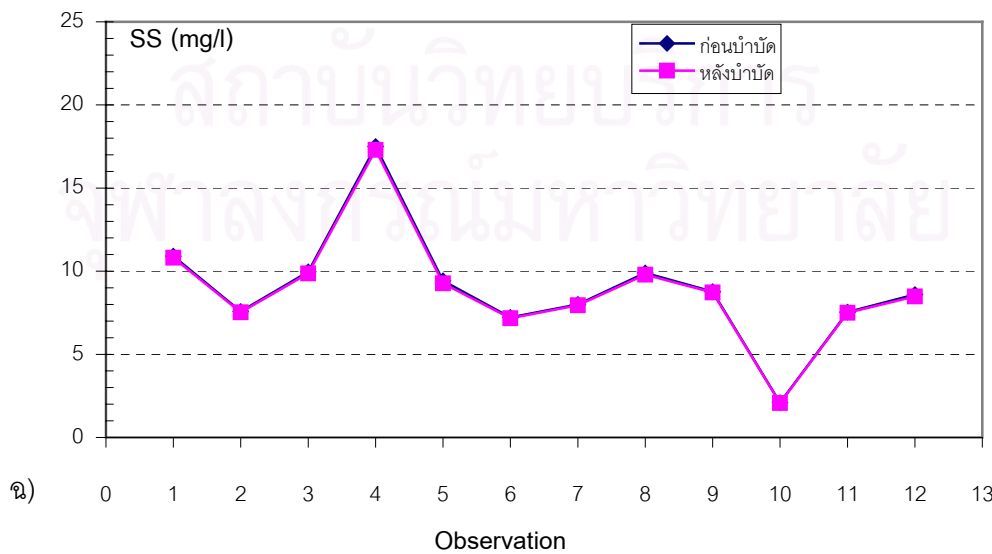
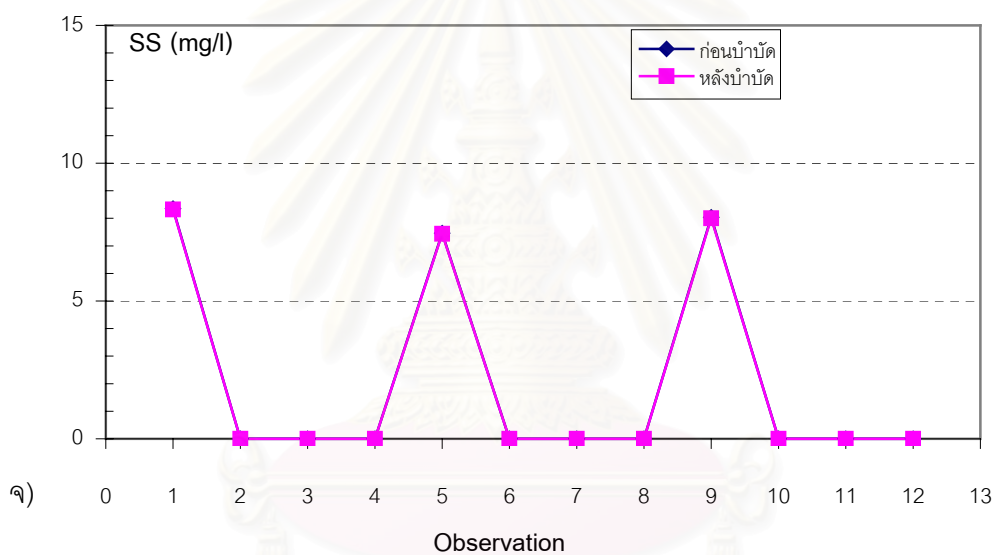
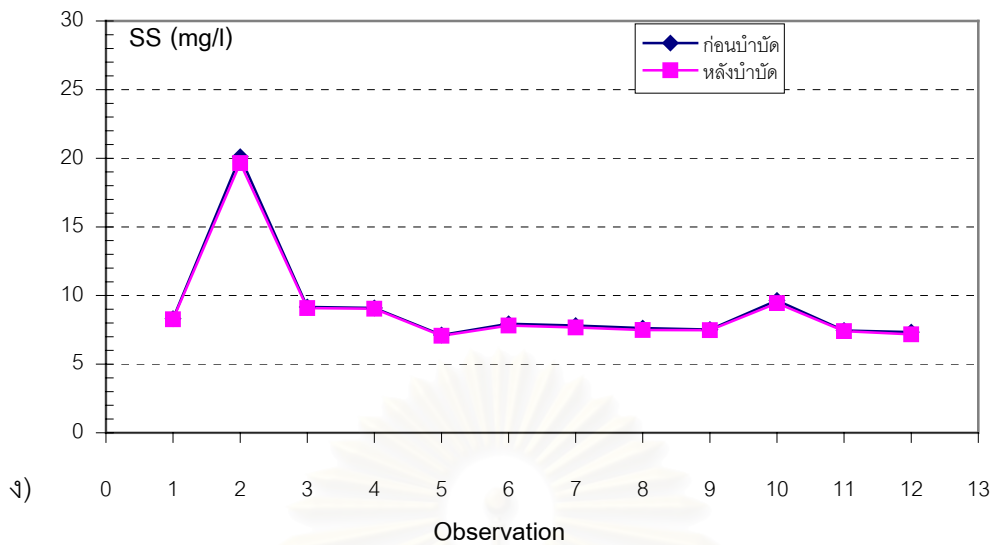


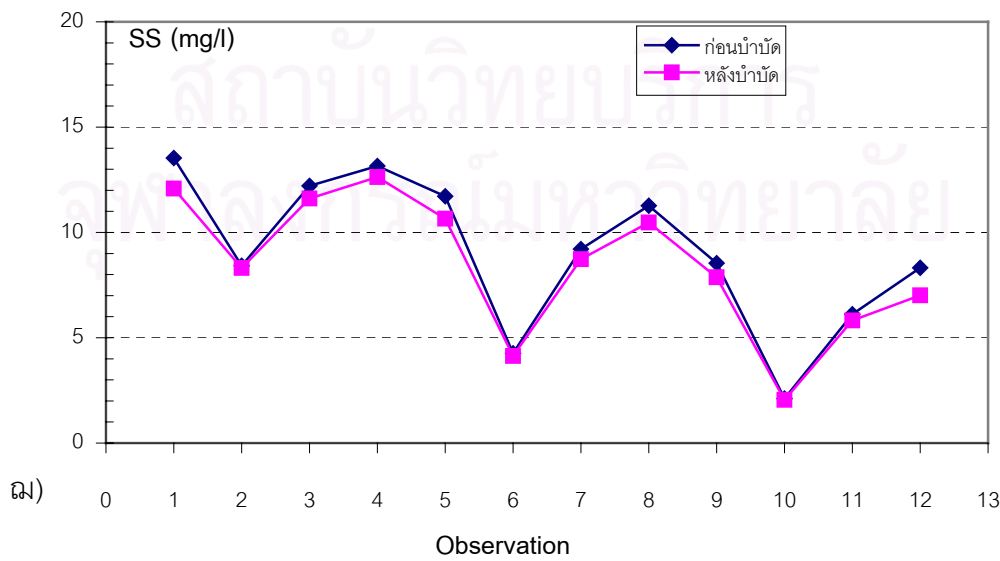
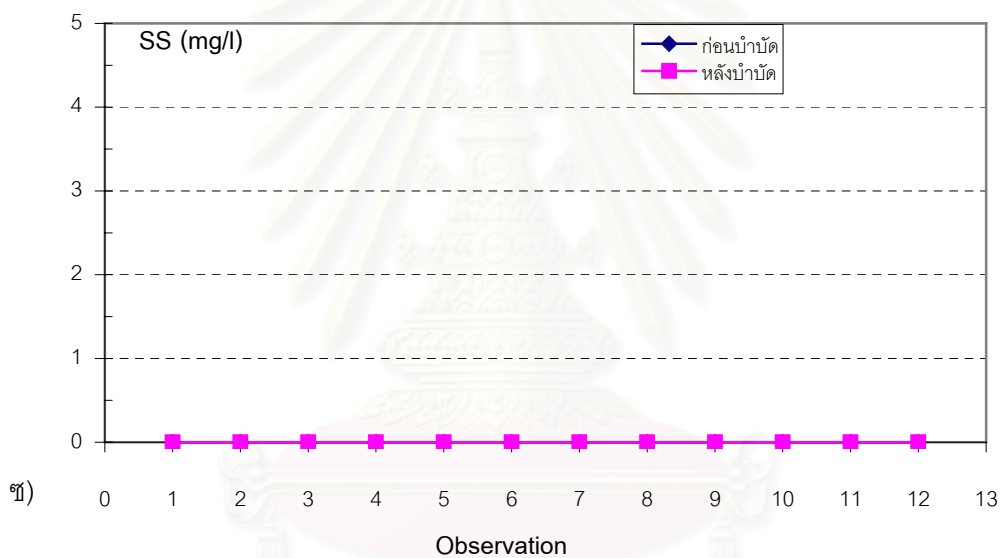
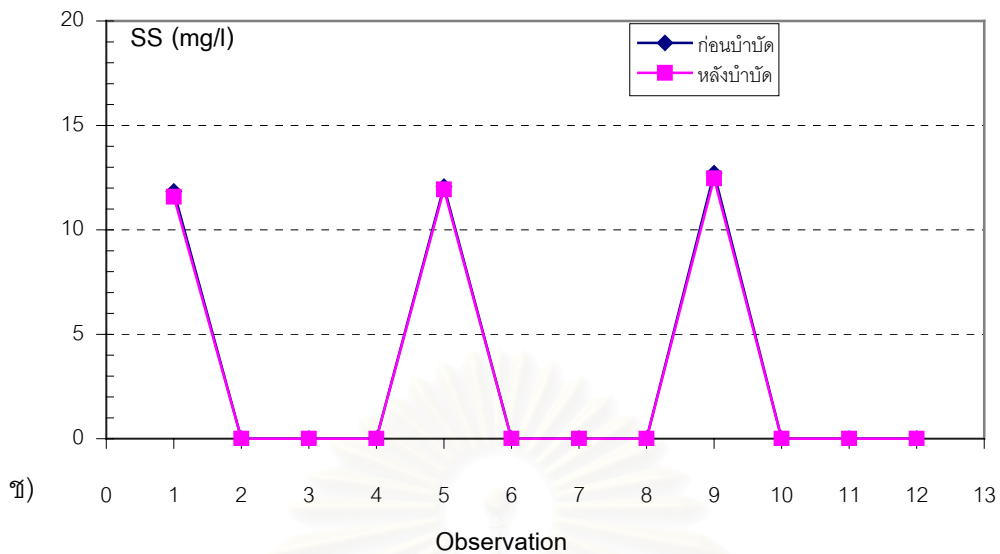


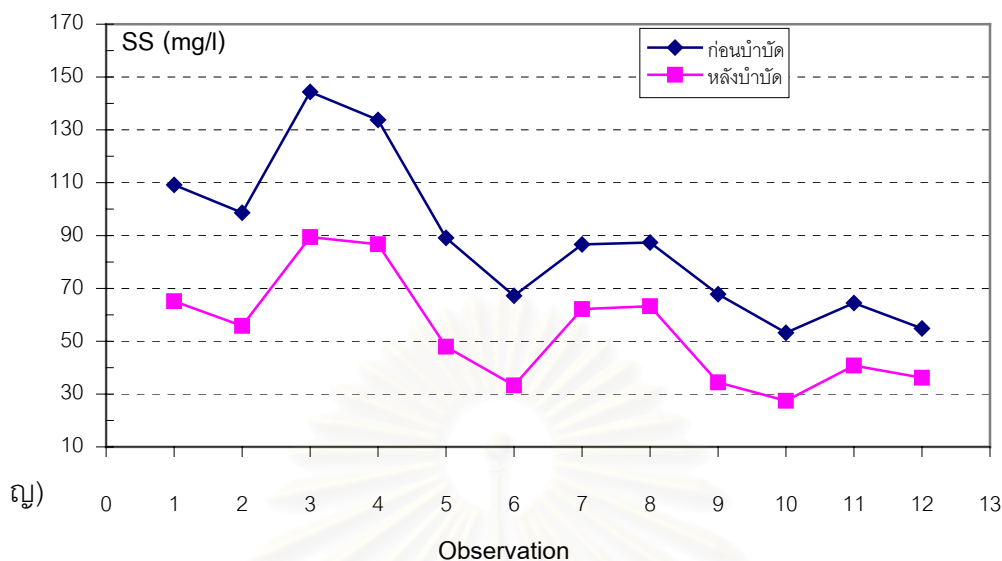


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำก่อนและหลังการบำบัดโดย DAF ที่ความดัน 0.6 MPa ก) 0.71-1.0 ไมครอน, ข) 1.01-1.2 ไมครอน, ค) 1.21-1.6 ไมครอน, ง) 1.61-2.5 ไมครอน, จ) 2.51-2.7 ไมครอน, ฉ) 2.71-6.0 ไมครอน, ช) 6.01-8.0 ไมครอน, ซ) 8.01-11.0 ไมครอน, ฌ) 11.01-20 ไมครอน, ฎ) มากกว่า 20.0 ไมครอน









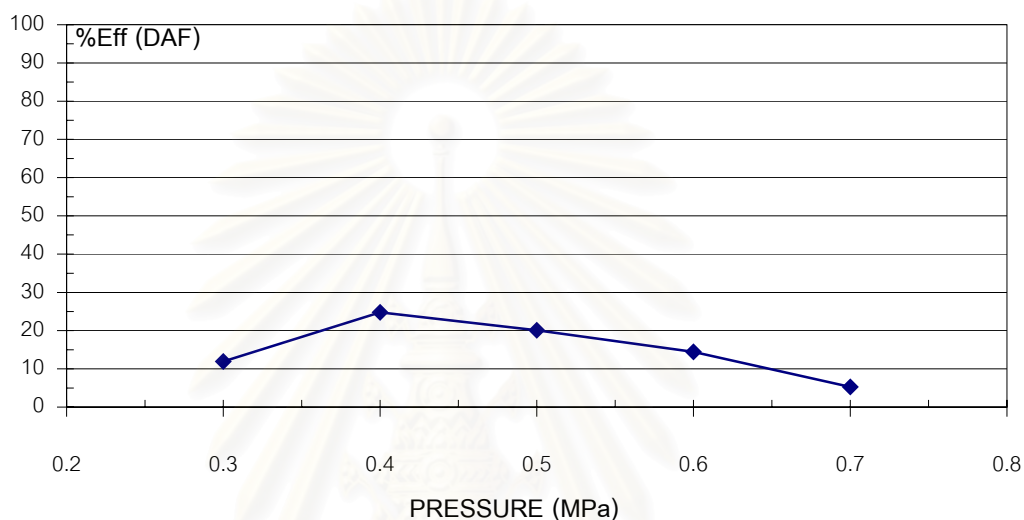
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำก่อนและหลังการบำบัดโดย DAF ที่ความดัน 0.7 MPa ก) 0.71-1.0 ไมครอน, ข) 1.01-1.2 ไมครอน, ค) 1.21-1.6 ไมครอน, ง) 1.61-2.5 ไมครอน, จ) 2.51-2.7 ไมครอน, ฉ) 2.71-6.0 ไมครอน, ช) 6.01-8.0 ไมครอน, ซ) 8.01-11.0 ไมครอน, ฌ) 11.01-20 ไมครอน, ซ) มากกว่า 20.0 ไมครอน

4.4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความดันต่าง ๆ ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยคำนวณได้จาก

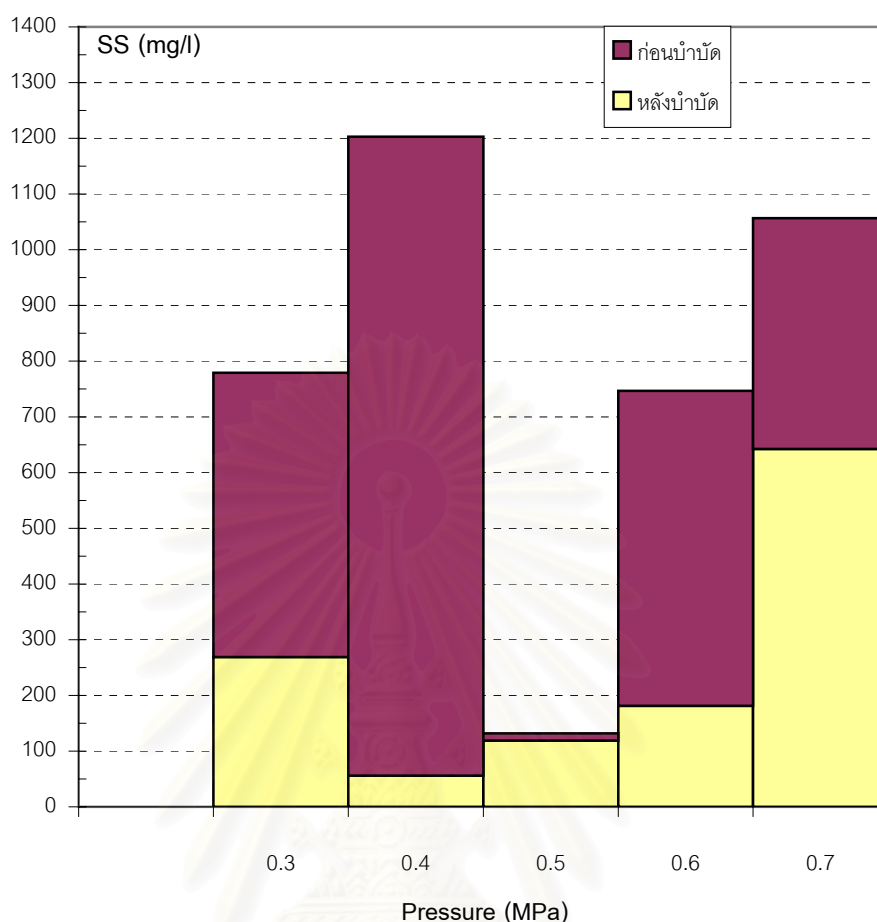
$$\frac{(\text{ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการบำบัด} - \text{ปริมาณของแข็งแขวนลอยหลังบำบัด})}{\text{ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการบำบัด}} * 100\%$$

โดยแสดงดังในกราฟรูปที่ 4.15 พบว่าที่ความดัน 0.4 MPa ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยดีที่สุด ร่องลงมาคือความดัน 0.5, 0.6, 0.3 และ 0.7 MPa ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าที่ความดันต่ำในการทดลอง 0.3 MPa ฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้ระยะห่างระหว่างฟองอากาศมีมากกว่าอนุภาค กลไกการเกิดการสัมผัสกันระหว่างฟองอากาศกับอนุภาคมีน้อย มีผลให้ประสิทธิภาพของการเกิดการชนกันระหว่างฟองอากาศกับอนุภาคมีค่าต่ำ ค่า Single-Collector Collision Efficiency (η), Bubble-Particle Attachment Efficiency (α_{pb}), Bubble Volume Concentration (ϕ_b) และค่า Bubble-Filter Efficiency (BFE) มีค่าต่ำ เมื่อเพิ่มความดันในการอัดอากาศเข้าสู่ถังมากขึ้น ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กลงและมี

จำนวนมากขึ้น (Feris&Rubio, 1999) ทำให้ระยะห่างระหว่างฟองอากาศมีค่าน้อยกว่าขนาดของอนุภาค การทำงานของ DAF ในส่วนการเกิดการสัมผัสกันจึงสูงขึ้น ดังนั้นค่า η , α_{pb} , ϕ_b และ BFE จึงมีค่าสูงขึ้น แต่ในกรณีที่ความดันสูงเกินไป ในการทดลองคือที่ความดัน 0.7 MPa ฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กมาก การทำงานของ DAF ในส่วนการแยกจึงลดลงและฟองอากาศขนาดเล็ก จะทำให้ความเร็วในการลอยขึ้นต่ำลง ประสิทธิภาพของการแยกที่ขึ้นอยู่กับความเร็วในการลอยขึ้นของฟองอากาศกับอนุภาค (Bubble-Particle Rise Velocity, V_{sr}) จึงมีค่าต่ำด้วย



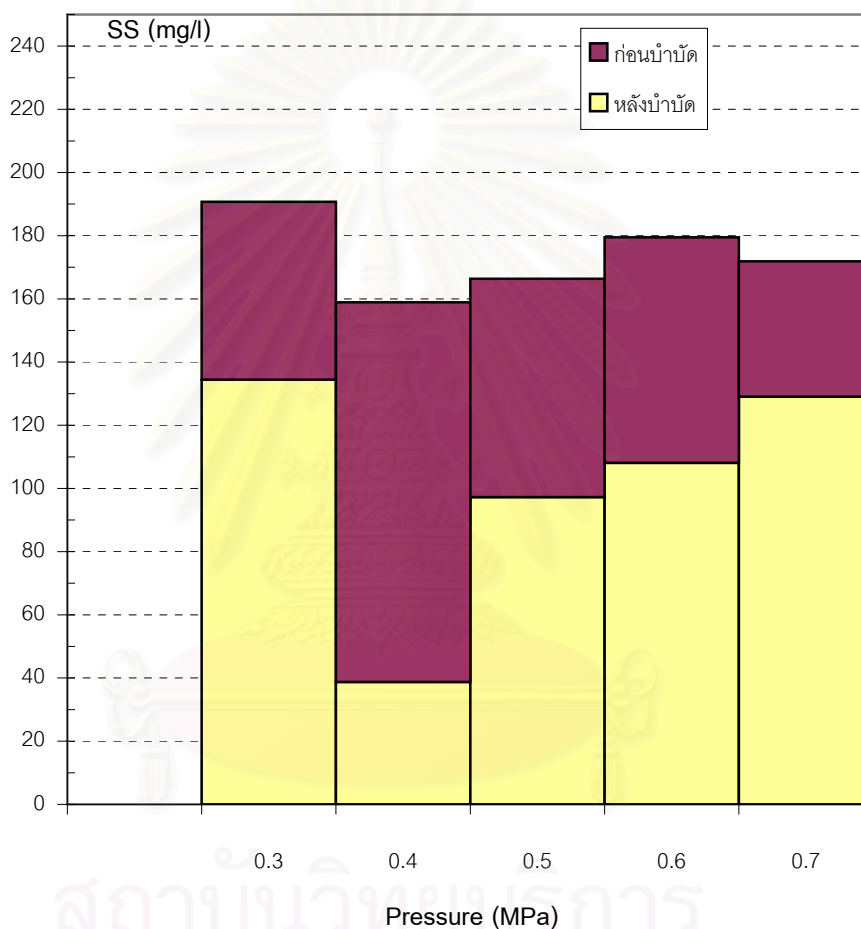
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยที่ความดันต่าง ๆ



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการกำจัดของแข็งแขวนลอยของอนุภาคขนาดมากกว่า 20 ไมครอนที่ความดันต่าง ๆ

เมื่อศึกษาการกระจายตัวของของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนบำบัดด้วย DAF พบว่าของแข็งแขวนลอยที่อนุภาคใหญ่กว่า 20 ไมครอน มีปริมาณมากกว่าอนุภาคขนาดอื่น ๆ โดยอนุภาคขนาด 6.01 ถึง 11 ไมครอน มีค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอยน้อยกว่าอนุภาคขนาดอื่น ส่วนอนุภาคขนาดอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอยมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการที่ความดัน 0.4 MPa มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ดีที่สุดซึ่งแสดงดังกราฟรูปที่ 4.16 จะสัมพันธ์กับขนาดอนุภาคที่มากกว่า 20 ไมครอน และขนาดฟองอากาศที่เกิดขึ้นในระหว่างการลอยตัวด้วยผลการทดลองของ Burn และคณะ ในปี 1997 พบว่าที่ความดัน 0.4 MPa ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะมีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 57 ไมครอน ซึ่งความสามารถของ DAF ที่จะกำจัดของแข็งแขวนลอยขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 20 ไมครอน ได้ดี เนื่องจากขนาดของอนุภาคทำให้โอกาสที่ฟองอากาศจะชนเกาะมาก จากสมการของ Stokes ความเร็วในการลอยขึ้นของฟองอากาศกับอนุภาค (V_{sr}) มีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Schers และ Dijk ในปี 1999

ที่พบว่าอนุภาคขนาด 500 ไมครอน มี V_{st} มากกว่าอนุภาคขนาด 200 และ 100 ไมครอน ตามลำดับ นอกจากนี้สามารถอธิบายได้ว่า อนุภาคที่มีมวลมากจะไม่สามารถเคลื่อนที่ตาม Stream line เนื่องจากความเฉื่อยของอนุภาค ดังนั้นอนุภาคจึงชนกับฟองอากาศได้ง่าย กลไกการชนกันเนื่องจากความเฉื่อย (η_{TA}) มีค่าสูง และ η_s ซึ่งเป็นกลไกเนื่องจากแรงโน้มถ่วงมีสูง ทำให้เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคที่เคลื่อนที่เนื่องจากแรงโน้มถ่วงและฟองอากาศได้ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการเกิดการชนกันระหว่างฟองอากาศกับอนุภาค (η) มีค่าสูง



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการกำจัดของแข็งแขวนลอยรวมที่ทุกความดัน

4.5 ผลของความดันในการอัดอากาศต่อค่าน้ำมันและไขมัน

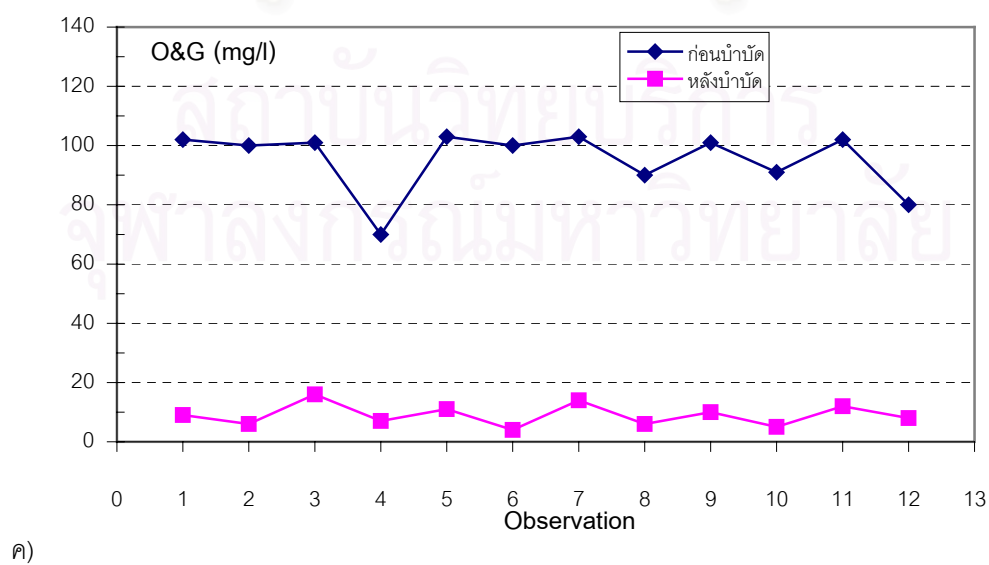
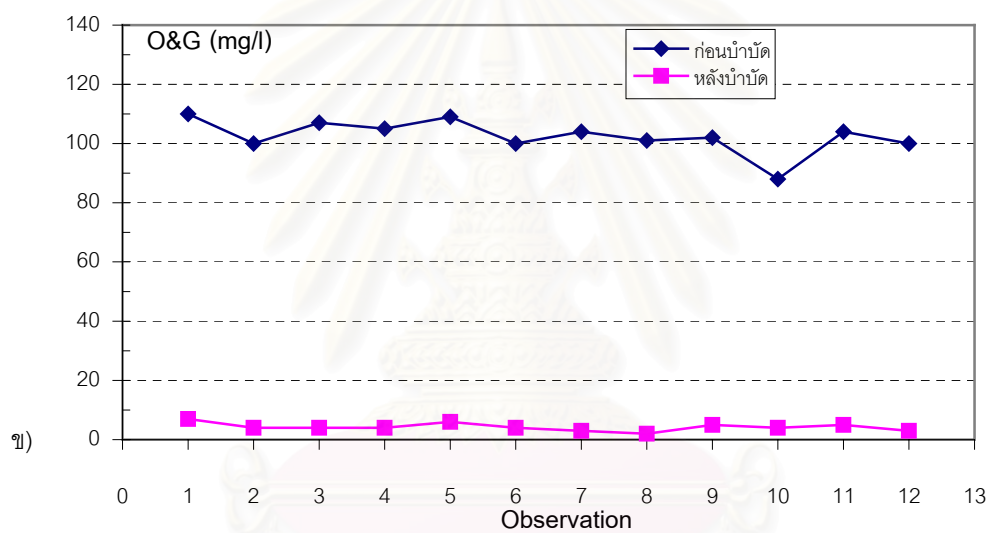
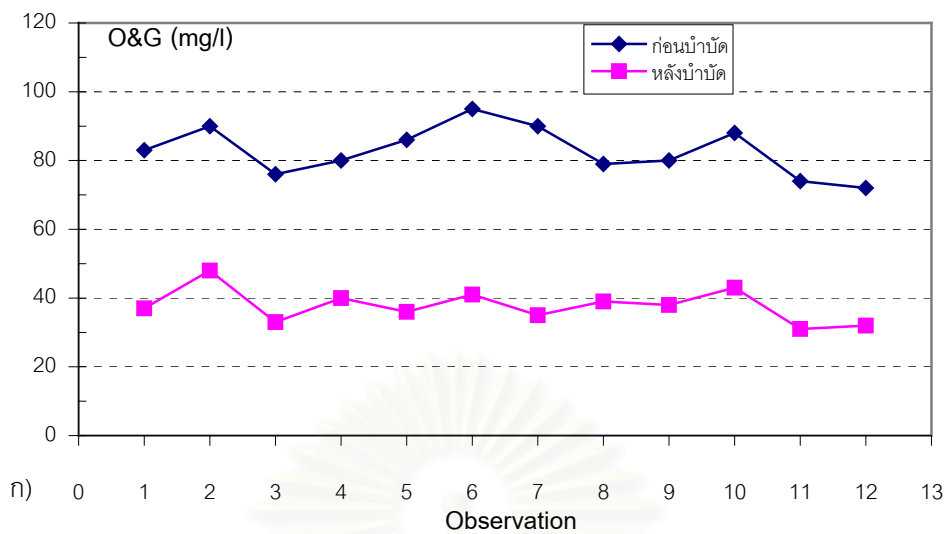
จากการศึกษาผลการบำบัดค่าน้ำมันและไขมันในน้ำโดย DAF ที่ความดันต่าง ๆ แสดงในกราฟรูปที่ 4.18 พบว่าฟองอากาศสามารถจับติดกับน้ำมันและไขมันที่อยู่ในรูปคอลลอยด์ให้ลอยขึ้นสูผิวน้ำและกำจัดออกไปได้ เช่นเดียวกับค่าซีไอดีและค่าของแข็งแขวนลอย และนำมาหา

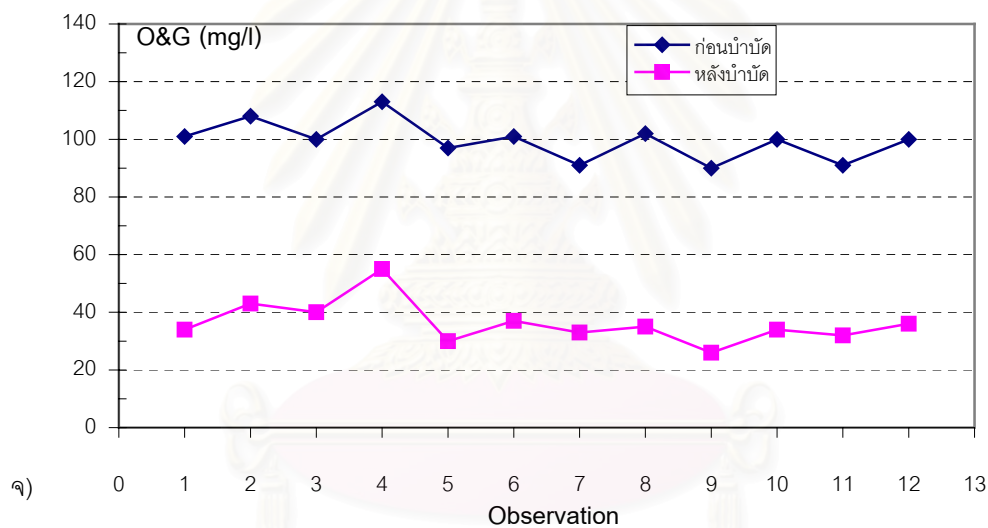
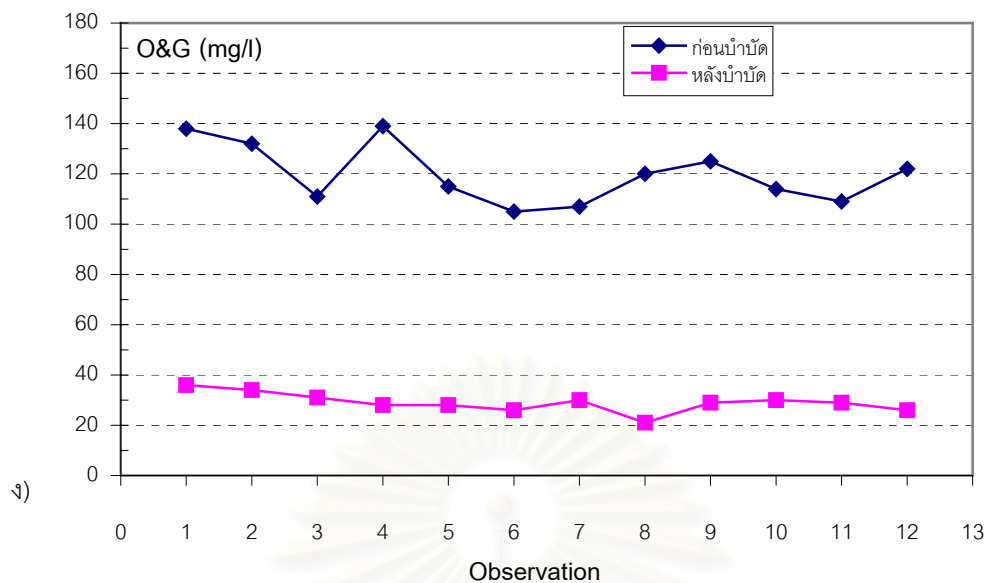
ประสิทธิภาพการบำบัด ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\% \text{ประสิทธิภาพการบำบัด} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันและไขมันก่อนบำบัด} - \text{ปริมาณน้ำมันและไขมันหลังการบำบัด}}{\text{ปริมาณน้ำมันและไขมันก่อนบำบัด}} \times 100\%$$

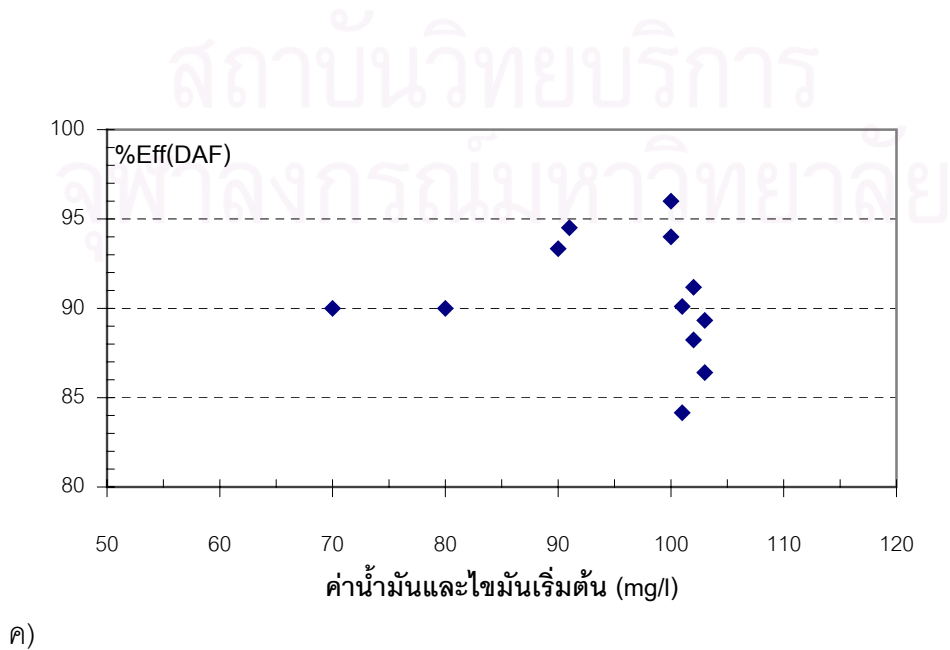
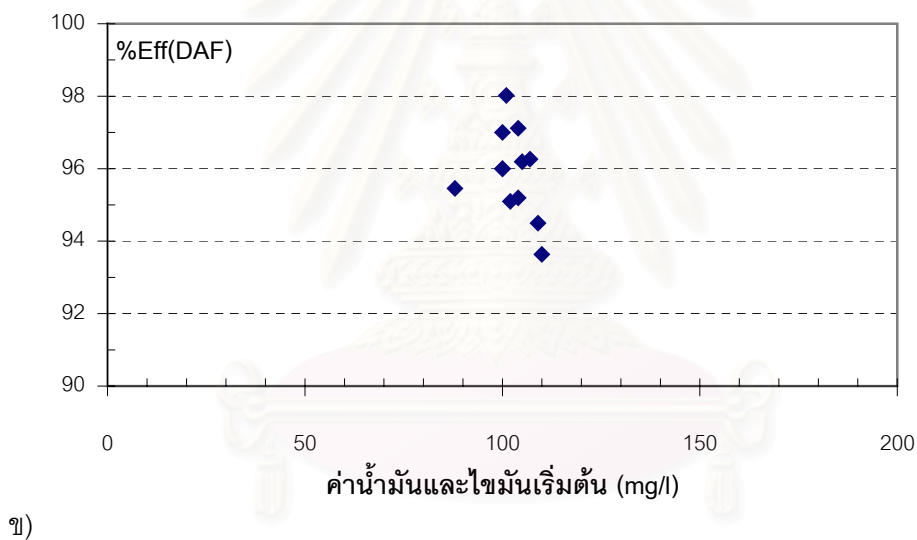
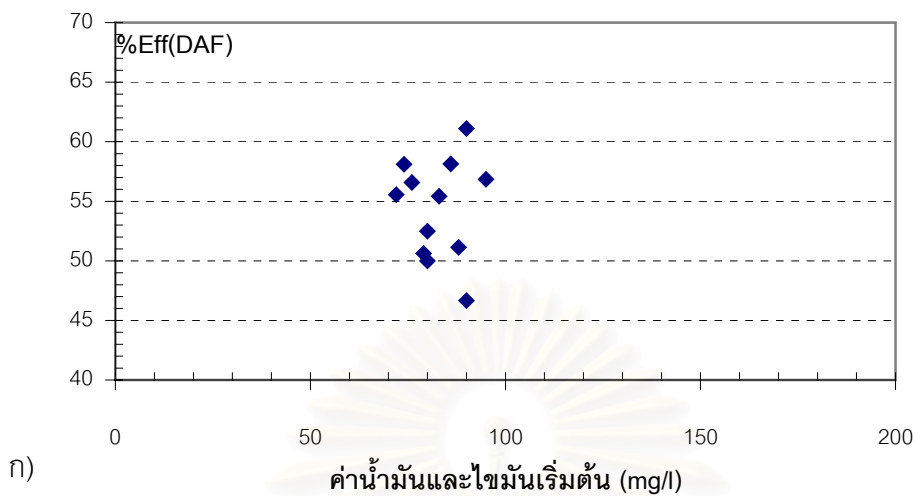
ปริมาณค่าน้ำมันเริ่มต้นไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโดย DAF ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.19 และจากกราฟของประสิทธิภาพการบำบัดรูปที่ 4.20 ที่ความดัน 0.4 MPa มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือ 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.3 MPa ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากกลไกการจับติดกันระหว่างฟองอากาศกับคอลลอยด์น้ำมันและไขมัน โดยความดันต่ำที่ 0.3 MPa ฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ทำให้ระยะห่างระหว่างฟองอากาศมีมาก อนุภาคน้ำมันและไขมันสามารถเล็ดลอดจากการจับติดกับฟองอากาศสูง ส่วนค่า SCCE และ BFE มีค่าต่ำเมื่อเพิ่มความดันให้สูงขึ้น ฟองอากาศที่เกิดจากแรงอัดอากาศจะมีขนาดเล็กและมีความหนาแน่นฟองอากาศมากขึ้น (Feris and Rubio, 1999) และจากการศึกษาค่าความดันที่มีผลต่อขนาดฟองอากาศใน DAF โดย Burn และคณะเมื่อปี 1997 ที่ความดัน 0.4, 0.5 และ 0.6 MPa ทำให้เกิดฟองอากาศขนาด 57, 48.24 และ 48 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งโอกาสที่อนุภาคน้ำมันและไขมันจะจับติดกับฟองอากาศมีมากขึ้น ระยะห่างระหว่างฟองอากาศน้อยลง แต่เมื่อความดันสูงกว่า 0.5 MPa ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงเนื่องจากฟองอากาศมีขนาดเล็กมาก ความเร็วในการลอยขึ้นต่ำ และมีฟองอากาศบางส่วนไปเกาะตามผนังของบ่อ ทำให้ค่า BFE ลดลง

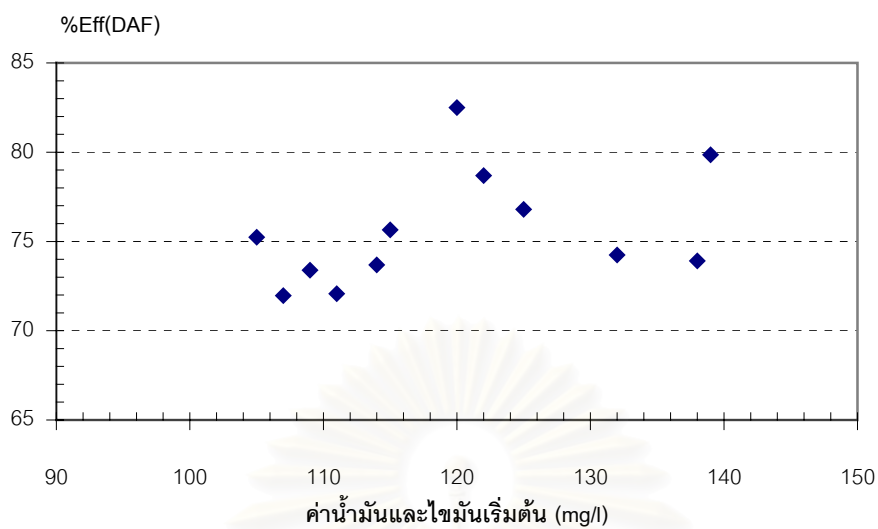
จากการศึกษาและทดลองพบว่าค่าความดันที่เหมาะสมใน DAF เพื่อกำจัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียคือที่ความดัน 0.4 MPa



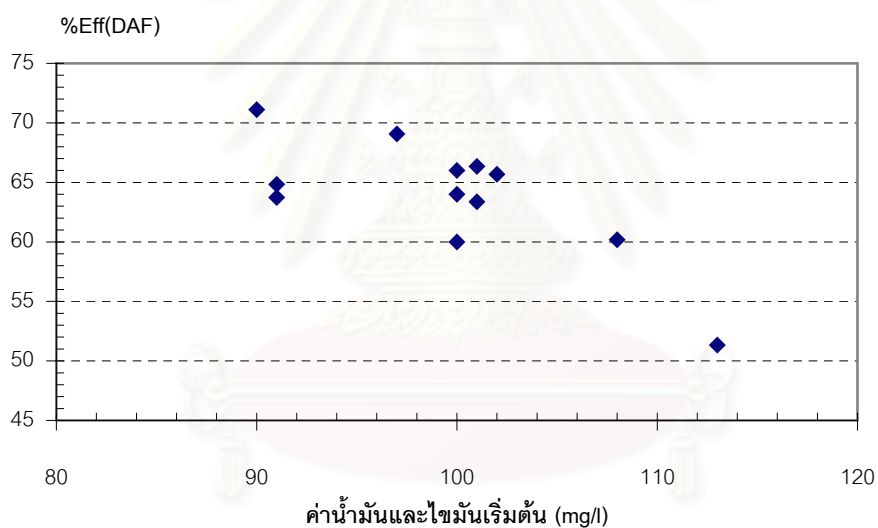


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าปริมาณน้ำมันและไขมันของน้ำก่อนบำบัดและหลังบำบัด ด้วย DAF ที่ความดันของการอัดอากาศค่า ต่าง ๆ ก) 0.3 MPa, ข) 0.4 MPa, ค) 0.5 MPa, ง) 0.6 MPa , จ) 0.7 MPa



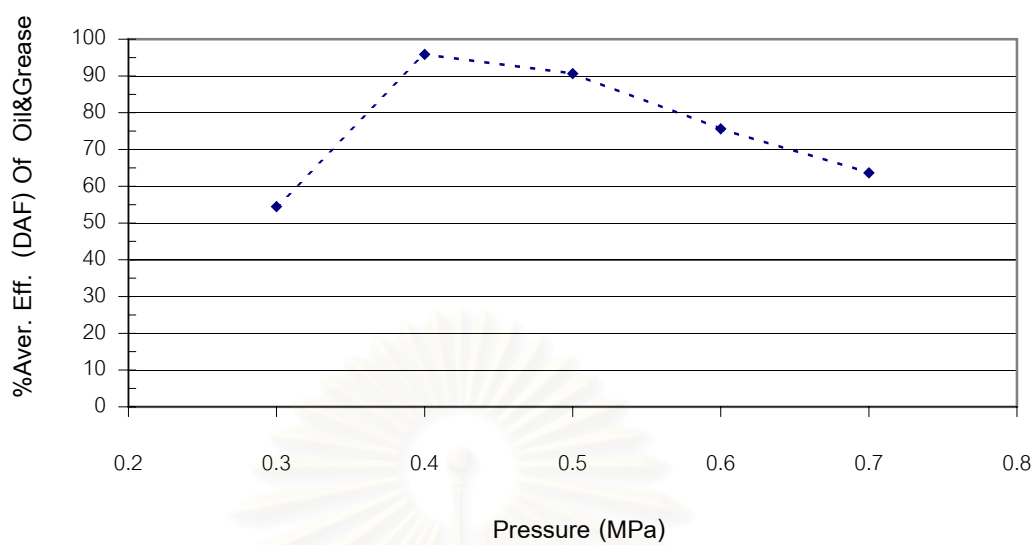


ง)



จ)

รูปที่ 4.19 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดโดย DAF กับ ค่าน้ำมันและไขมันเริ่มต้นที่ความดันของการอัดอากาศค่าต่าง ๆ ก) 0.3 MPa, ข) 0.4 MPa, ค) 0.5 MPa, ง) 0.6 MPa, จ) 0.7 MPa



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมันที่ความดันต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาระบบการทำให้ลอยที่ความดัน 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 MPa โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำ อัตราการเวียนกลับของน้ำจากถังลอยตัวสู่ถังความดัน การเติมสารส้มและโพลีเมอร์ ให้มีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาการทดลอง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 องค์ประกอบของน้ำเสียจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำการวิจัยประกอบด้วยของแข็งที่ละลายน้ำเป็นหลัก และมีของแข็งแขวนลอยเป็นส่วนน้อย ที่เหลือเป็นไขมันและน้ำมัน

5.1.2 องค์ประกอบที่ถูกออกซิไดซ์ได้ประมาณสองในสามอยู่ในรูปของของแข็งแขวนลอยและไขมันและน้ำมันซึ่งสามารถถูกกำจัดออกได้ด้วยการทำงานของ DAF

5.1.3 เนื่องจากของแข็งแขวนลอยมีขนาดอนุภาคเกือบทั้งหมดที่ใหญ่กว่า 20 ไมครอน ความดันที่เหมาะสมในการใช้งานของ DAF จึงอยู่ที่ 0.4 MPa

5.1.4 สำหรับการกำจัดไขมันและน้ำมัน ความดันที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.4-0.5 MPa

5.1.5 DAF จะมีประสิทธิภาพที่ดีในการลดของแข็งแขวนลอย ไขมันและน้ำมัน ในขณะที่ไม่ส่งผลต่อของแข็งที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า และ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่วน COD และ BOD ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างสารที่ถูกออกซิไดซ์ได้กับของแข็งที่ละลาย ของแข็งแขวนลอย และ น้ำมันและไขมัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในระบบการทำให้ลอยแล้ว ไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพอีก (ปัจจุบันใช้ระบบ Activated sludge ร่วมด้วยในการบำบัด) สามารถผ่านเข้าสู่บ่อดกตะกอน และถังกรองทราย ปล่อยทิ้งได้ เพราะจากการศึกษาพบว่าน้ำเสียที่ผ่าน DAF มีค่าใกล้เคียงกับคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ Activated sludge

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการพิมพ์.

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิษณุพล สงวนนวล. 2543. การศึกษากระบวนการทำให้ลอยตัวด้วยอากาศที่ละลายน้ำเพื่อกำจัดสラリーออกจากน้ำดิบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภชัย ปิติชัยชาญ, นิธิพล สุขสถาพร. 2535. การแยกองค์ประกอบน้ำมันจากน้ำเสียโรงงานกะทิโดยวิธีการอัดอากาศให้เกิดการลอยตัว. รายงานโครงการวิจัยภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุดมศักดิ์ เจียรวิชัย, 2541. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดขั้นต้น สำหรับน้ำเสียโรงงานผลิตนมถั่วเหลืองด้วยกระบวนการดีเอเอฟ กับกระบวนการโคแอกกูเลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

A.S. Foust, L.A. Wenzel, C.W. Clump and L. Maus, L.B. Andersen. 1980. Principles of Unit Operations. 2nd Ed., Canada: John Willey & Sons,

A.V. Nguyen. 2003. New method and equations for determining attachment tenacity and particle size limit in flotation. International Journal of Mineral Processing. Volume 68 : 167-182.

- A.V. Nguyen, G.M. Evans and H.J. Schulze.2001.Prediction of van der Waals interaction in bubble-particle attachment in flotation.International Journal of Mineral Processing.Volume 61 : 155-169.
- C.M. Phan, A.V. Nguyen and J.D. Miller.2003.Investigations of bubble-particle interactions. International Journal of Mineral Processing.Volume 72 : 239-254.
- C.J. Geankoplis.1995.Transport Processes and Unit Operations. 3rd Ed. , New York: Prentice-Hall,
- F.Tassel, J. Rubio and M. Misra.1997.Removal of mercury from gold cyanide solution by dissolved air flotation.Minerals Engineering. Volumn 10, No.8 : 803-811.
- G.Tchobanoglous , F.L. Burton and H. D.Stensel. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse . 4th Ed.,New York: Metcalf&Eddy,
- H.Stechemesser and A.V. Nguyen.1999.Time of gas-solid-liquid three-phase contact expansion in flotation. International Journal of Mineral Processing.Volume 56 : 117-132.
- J. Haarhoff and S. Steinbach.1996.A comprehensive method for measuring the air transfer efficiency of pressure saturators. Water Resevation. Volume 31, No.5 : 981-990.
- J.L. Brault.1991. Water Treatment Handbook. 6th ed. ,Rueil-Malmaison Cedex (France): Degre' mont,
- L.A. Feris and J.Rubio.1999.Dissolved Air Flotation (DAF) Performance at Low Saturation Pressures.Journal of Chemical Engineering : Filtration & Separation.Volume 3 : 61-65.

- M.Han, Y.Park and J.Lee.2002.Effect of pressure on bubble size in dissolved air flotation.Water Science and Technology Volume 2, No.5-6 : 41-46.
- N. Azbar and T. Yonar.2004.Comparative evaluation of a laboratory and full-scale treatment alternatives for the vegetable oil refining industry wastewater.Process Biochemistry.Volume 39 : 869-875.
- N.N. Rulyov.1999.Hydrodynamic destruction of waste emulsions in the process of their Separation through ultra-flocculation and micro-flotation.Physicochemical and Engineering Aspects.Volume 152 : 11-15.
- P.A. Harvey, A.V. Nguyen and G.M.Evans.2002.Influence of electrical double-layer interaction on coal flotation.Journal of Colloid and Interface Science.Volume 250 : 337-343.
- S.E.Burns., S.Yiacoumi and C. Tsouris.1997.Microbubble generation for environmental and industrial separations.Separation and Purification Technology Volume 11 : 221-232.
- V.Dupre and M.Ponasse.1997.Bubble Formation by water release in nozzles-I Mechanisms.Water Reservation Volume 32, No.8 : 2491-2497.
- V.Dupre and M.Ponasse.1997.Bubble Formation by water release in nozzles-II Influence of various parameters on bubble size.Water Reservation Volume 32, No.8 : 2498-2506.
- W. L. McCabe, J.C. Smith and P. Harriott.2001.Unit Operation of Chemical Engineering. 6th Ed. , New York:McGraw-Hill Comp.,



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 ผลการศึกษาค่าการกระจายตัวของของแข็งแขวนลอยของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ที่
ความดัน 0.3 MPa

Sample Name	PARTICLE SIZE 0.71-1.0 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	18.10	16.08	19.86	11.56	17.39	15.05	17.90	12.10	18.26	17.02	22.55	17.01
Sump	17.67	16.18	19.12	14.06	16.09	14.99	17.64	12.95	20.23	17.27	23.24	15.00
Treated	17.44	16.11	18.79	13.15	15.46	14.36	16.18	11.87	20.01	16.98	22.04	14.17

Sample Name	PARTICLE SIZE 1.01-1.2 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	30.45	35.94	32.85	27.32	18.20	22.20	19.84	18.56	19.44	19.86	18.75	18.01
Sump	31.17	36.32	33.61	28.74	18.70	22.53	21.14	18.71	20.11	21.17	19.27	18.56
Treated	30.08	34.90	30.30	26.43	18.11	21.56	20.33	17.60	19.00	20.63	18.19	17.35

Sample Name	PARTICLE SIZE 1.21-1.6 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	19.38	16.45	18.75	16.14	21.06	18.7	32.35	24.11	19.7	17.3	21.77	17.24
Sump	19.41	16.4	20.71	18.66	20.98	18.66	35.14	27.67	19.6	17.45	21.18	20.15
Treated	19.12	16.28	20.05	18.05	20.8	18.75	35.74	28.6	19.92	17.18	21.02	19.35

Sample Name	PARTICLE SIZE 1.61-2.5 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	10.27	10.75	11.87	10.33	14.28	14.02	16.15	14.25	9.15	9.07	9.27	9.02
Sump	10.2	10.61	11.62	10.27	14.3	14.14	16.65	14.48	9.25	9.01	9.24	9
Treated	10.1	10.56	11.45	10.19	14.32	14.11	16.28	14.16	9.18	9.07	9.18	8.95

Sample Name	PARTICLE SIZE 2.51-2.7 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	0	8.55	8.62	0	0	14.76	17.12	0	0	0	0	0
Sump	0	8.61	8.74	0	0	14.7	16.94	0	0	0	0	0
Treated	0	8.45	8.7	0	0	14.5	16.8	0	0	0	0	0

Sample Name	PARTICLE SIZE 2.71-6 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	10.90	7.11	11.63	12.50	8.60	5.10	9.81	9.91	14.70	9.45	10.96	21.18
Sump	10.35	7.05	10.18	13.62	8.40	4.91	9.66	9.77	12.33	9.70	12.62	20.34
Treated	10.30	7.00	10.01	13.44	8.38	4.82	9.50	9.72	12.23	9.48	12.58	20.33

Sample Name	PARTICLE SIZE 6.01-8 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sump	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Treated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Sample Name	PARTICLE SIZE 8.01-11 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sump	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Treated	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Sample Name	PARTICLE SIZE 11.01-20 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	3.04	4.65	3.29	2.67	4.12	4.83	4.15	4.11	4.96	5.67	4.86	4.17
Sump	4.38	5.5	4.18	3.55	4.92	5.99	5.46	4.71	5.79	6.45	4.97	5.24
Treated	2.38	3.22	2.82	1.67	3.04	3.18	2.89	2.9	4	3.59	3.05	3.05

Sample Name	PARTICLE SIZE > 20 micron											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	52.7	40.75	41.26	27.28	48.9	32.15	35.1	31.53	68.5	50.66	43.89	40.64
Sump	79.2	60.1	59.78	44.5	71.7	59.4	59.56	52.81	86.1	72.5	63.7	69.78
Treated	31.21	21.15	20.28	15.62	28.15	17.11	19.88	16.47	33.78	23.34	20.75	21.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-2 ผลการศึกษาค่าการกระจายตัวของของแข็งแขวนลอยของอนุภาคนาขนาดต่าง ๆ ที่
ความดัน 0.4 MPa

Sample	PARTICLE SIZE 0.71-1.0 micron											
	SET											
	Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Raw	8.75	6.50	10.24	7.40	9.80	7.11	10.58	7.37	10.25	9.10	12.50	9.23
Sump	9.08	7.28	11.25	8.97	10.27	7.46	11.86	9.65	10.66	9.26	12.90	11.38
Treated	8.75	6.60	9.36	6.54	9.24	6.68	10.53	8.11	9.31	8.32	10.11	8.93

Sample	PARTICLE SIZE 1.01-1.2 micron											
	SET											
	Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Raw	1.41	2.34	3.84	3.95	1.82	3.67	8.55	8.62	1.36	2.99	5.28	5.34
Sump	1.52	2.42	4.57	4.58	1.64	4.12	9.10	9.20	1.85	3.46	6.34	6.23
Treated	1.28	2.15	3.04	3.85	1.50	3.38	6.57	6.94	1.63	2.78	5.87	5.14

Sample	PARTICLE SIZE 1.21-1.6 micron											
	SET											
	Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Raw	10.4	0	1.3	1.27	5.7	0	1.2	1.2	17.8	0	1.85	1.79
Sump	10.42	0	1.31	1.28	5.75	0	1.21	1.22	18.12	0	1.86	1.8
Treated	10.41	0	1.28	1.25	5.74	0	1.2	1.18	18.05	0	1.81	1.77

Sample	PARTICLE SIZE 1.61-2.5 micron											
	SET											
	Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Raw	1.51	4.63	1.78	3.07	1.23	3.42	1.08	1.98	0.95	2.45	0.74	1.55
Sump	1.45	4.92	1.8	3.16	1.28	3.59	1.1	2.09	1.02	2.74	0.85	2.25
Treated	1.38	4.18	1.74	2.75	1.25	3.4	0.97	1.87	0.97	2.54	0.74	1.77

Sample Name	PARTICLE SIZE 2.51-2.7 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	0	0	8.54	2.39	0	0	5.01	0.5	0	0	6.22	0.71
Sump	0	0	8.59	2.43	0	0	5.08	0.55	0	0	6.34	0.77
Treated	0	0	7.55	2.34	0	0	4.9	0.5	0	0	6.24	0.73

Sample Name	PARTICLE SIZE 2.71-6 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	4.87	3.77	4.57	3.12	6.33	5.08	4.64	4.05	4.10	2.94	3.51	1.86
Sump	4.92	3.85	4.60	3.22	6.44	5.11	4.75	4.17	4.18	3.04	3.55	2.03
Treated	4.82	3.65	4.30	3.10	6.37	4.93	4.63	3.86	4.08	2.97	3.43	1.89

Sample Name	PARTICLE SIZE 6.01-8 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	2.38	2.20	7.05	4.54	1.63	1.20	3.60	2.97	1.30	0.98	2.94	2.75
Sump	2.33	2.25	7.26	4.66	1.72	1.21	4.16	3.13	1.35	1.04	3.28	3.01
Treated	2.29	2.13	6.37	4.11	1.58	1.16	3.55	2.84	1.26	0.88	3.16	2.77

Sample Name	PARTICLE SIZE 8.01-11 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	0.71	0.94	0.87	0.64	1.72	1.86	0.75	0.84	1.05	1.13	1.08	0.98
Sump	0.8	1.11	1.02	0.98	1.85	2	0.92	1.06	1.25	1.39	1.12	1.26
Treated	0.62	1.01	0.72	0.63	1.27	1.15	0.68	0.7	0.95	1.11	0.73	0.8

Sample Name	PARTICLE SIZE 11.01-20 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	0.8	0.18	1.04	1.09	1	0.67	1.17	1.22	1.2	1.04	1.48	2.1
Sump	0.97	0.73	1.86	1.6	1.13	1.02	2	1.54	1.17	1.3	2.2	2.35
Treated	0.38	0.18	0.62	0.41	0.45	0.31	0.91	0.41	0.48	0.35	0.78	0.68

Sample Name	PARTICLE SIZE > 20 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	56.71	51.14	47.51	41.01	89.2	74.22	65.4	58.84	89	72.6	61.1	50.32
Sump	95.87	91.45	81.5	74.61	155.2	100	97.4	88.61	147.9	96.6	94.11	79.8
Treated	7.12	7.03	1.42	0.42	9.14	9.67	2.6	0.91	7.74	7.3	1.98	0.68

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 ผลการศึกษาค่าการกระจายตัวของของแข็งแขวนลอยของอนุภาคนขนาดต่าง ๆ ที่
ความดัน 0.5 MPa

Sample Name	PARTICLE SIZE 0.71-1.0 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	9.05	18.34	22.46	7.12	7.15	12.12	13.26	3.89	6.90	8.85	9.37	5.28
Sump	9.51	19.59	23.41	7.58	7.32	12.84	14.32	4.15	7.17	9.56	10.28	6.27
Treated	8.66	17.83	21.16	6.28	7.03	11.97	12.70	3.45	6.84	8.85	9.11	5.18

Sample Name	PARTICLE SIZE 1.01-1.2 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	1.84	3.47	4.02	4.57	0.59	5.79	3.79	3.86	2.37	20.75	10.19	23.06
Sump	1.91	4.16	4.65	5.81	0.67	6.43	4.41	4.58	2.43	21.55	10.95	24.61
Treated	1.76	3.68	3.81	4.13	0.48	5.92	3.55	3.17	2.35	18.54	9.05	21.20

Sample Name	PARTICLE SIZE 1.21-1.6 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	2.76	6.89	7.76	6.43	3.74	8.37	10.92	9.22	2.05	4.75	6.97	5.74
Sump	2.77	6.84	7.77	6.44	3.75	8.41	10.94	9.23	2.06	4.76	7	5.75
Treated	2.75	6.83	7.71	6.39	3.72	8.39	10.87	9.18	1.99	4.73	6.95	5.73

Sample Name	PARTICLE SIZE 1.61-2.5 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	7.82	18.42	9.32	10.23	4.25	8.02	6.46	6.94	3.17	6.99	5.79	6.83
Sump	7.91	19.55	9.45	11.26	4.29	9.39	6.94	7.35	3.19	7.06	6.11	7.64
Treated	7.71	17.51	8.94	10.15	4.18	8.11	6.3	6.71	3.11	5.98	5.76	7.02

Sample Name	PARTICLE SIZE 2.51-2.7 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	0	3.44	8.11	7.17	0	7.93	39.68	14.4	0	7.02	18.22	11.37
Sump	0	3.6	8.19	7.23	0	8.11	40.01	14.65	0	7.04	18.46	11.46
Treated	0	3.49	8.02	7.03	0	7.85	39.2	14.18	0	6.84	18.1	11.04

Sample Name	PARTICLE SIZE 2.71-6 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	3.33	4.04	4.12	5.58	10.46	11.58	9.71	13.90	4.72	5.14	5.07	5.93
Sump	3.40	4.11	4.33	5.61	10.56	11.70	9.86	14.12	4.79	5.19	5.16	6.07
Treated	3.37	4.02	4.09	5.23	10.53	11.56	9.51	13.74	4.76	5.12	4.97	5.93

Sample Name	PARTICLE SIZE 6.01-8 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	15.71	12.44	40.57	9.08	11.38	10.18	12.56	1.17	13.51	11.21	14.84	4.75
Sump	15.98	12.71	41.80	9.11	12.15	10.27	13.08	1.11	13.88	11.52	15.32	4.78
Treated	15.42	12.13	38.62	8.52	11.72	9.91	12.17	1.03	13.19	11.12	14.45	4.22

Sample Name	PARTICLE SIZE 8.01-11 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	7.64	16.58	10.57	6.92	7.22	12.08	6.37	4.2	6.14	7.81	5.08	4.78
Sump	7.93	17.76	12.71	7.19	7.69	13.22	8.22	5.24	6.88	8.17	7.33	6.13
Treated	7.45	15.72	9.44	5.48	7.19	11.63	5.75	3.94	6.3	7.08	4.82	4.32

Sample Name	PARTICLE SIZE 11.01-20 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	7.34	4.45	7.32	7.58	8.42	5.71	9.18	8.84	9.74	8.14	19.41	8.24
Sump	12.12	8.94	12.68	8.7	13.3	10.18	14.18	10.98	15.67	13.88	57.98	13.98
Treated	5.7	4.13	8.6	4.52	6.37	5.27	7.07	6.14	8.24	6.11	17.42	5.84

Sample Name	PARTICLE SIZE > 20 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	10.05	10.42	12.17	11.75	11.84	12.37	12.69	13.17	17.65	22.2	29.13	38.08
Sump	35.7	39.54	38.12	39.24	36.95	43.54	39.48	45.78	53.35	72.92	57.4	94.98
Treated	5.87	4.1	6.67	3.53	7.18	4.94	7.18	3.4	14.94	8.57	10.15	7.08

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 ผลการศึกษาค่าการกระจายตัวของของแข็งแขวนลอยของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ที่
ความดัน 0.6 MPa

Sample Name	PARTICLE SIZE 0.71-1.0 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	9.75	6.29	10.95	11.69	11.64	7.82	12.62	16.99	10.48	6.89	11.17	12.77
Sump	10.03	6.28	11.63	12.49	11.98	7.80	12.88	17.65	10.98	6.92	11.49	13.45
Treated	9.41	6.06	10.58	11.80	11.62	7.51	11.93	16.10	10.27	6.62	10.78	11.34

Sample Name	PARTICLE SIZE 1.01-1.2 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	14.73	15.18	15.86	16.07	17.58	25.14	25.69	27.46	16.05	21.43	21.45	22.98
Sump	15.11	15.54	17.92	18.81	17.97	26.26	27.87	28.95	16.92	21.59	23.20	24.25
Treated	14.38	14.66	15.17	16.13	16.75	24.87	25.24	25.09	15.89	20.55	21.01	21.07

Sample Name	PARTICLE SIZE 1.21-1.6 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	7.35	5.2	3.25	5.19	8.32	7.09	5.98	6.78	9.62	8.44	8.17	8.28
Sump	7.38	5.26	3.3	5.47	8.24	7.1	6.03	6.91	9.67	8.46	8.19	8.62
Treated	7.37	5.23	3.29	4.96	8.23	7.05	5.98	6.35	9.66	8.42	8.07	8.01

Sample Name	PARTICLE SIZE 1.61-2.5 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	4.21	5.64	7.25	5.92	6.64	7.45	8.06	8.18	7.48	8.21	9.44	8.64
Sump	4.22	5.69	7.29	5.96	6.65	7.5	8.07	8.21	7.49	8.26	9.45	8.66
Treated	4.14	5.57	7.25	5.92	6.51	7.41	8.02	8.13	7.35	8.14	9.39	8.57

Sample Name	PARTICLE SIZE 11.01-20 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	17.02	10.18	11.57	12.08	19.25	13.51	14.2	14.58	18.18	12.04	11.94	12.65
Sump	28.08	13.13	14.58	16.16	32.25	16.71	18.72	19.88	30.12	15.75	14.75	16.84
Treated	15.42	6.34	7.3	8.32	19.65	8.48	9.34	11.25	18.31	7.68	7.36	8.45

Sample Name	PARTICLE SIZE > 20 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	16.21	13.32	13.04	17.49	18.47	17.53	13.85	23.47	19.47	17.14	15.57	25.28
Sump	53.72	48.65	48.76	54.04	68.37	66.1	57.37	68.19	70.26	66.98	70.88	73.5
Treated	12.67	10.78	13.67	14.89	13.44	12.64	15.1	19.65	14.13	9.76	21.75	22.75

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-5 ผลการศึกษาค่าการกระจายตัวของของแข็งแขวนลอยของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ที่
ความดัน 0.7 MPa

Sample Name	PARTICLE SIZE 0.71-1.0 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	10.63	8.26	11.05	6.51	9.05	7.27	8.75	4.98	7.32	5.56	7.44	3.45
Sump	10.62	8.32	11.12	6.53	9.01	7.32	8.81	5.00	7.37	5.60	7.67	3.47
Treated	10.49	8.24	10.83	6.46	8.90	7.24	8.65	4.95	7.31	5.52	7.52	3.44

Sample Name	PARTICLE SIZE 1.01-1.2 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	8.53	9.12	8.26	7.45	7.45	8.02	7.02	6.46	7.21	7.04	6.92	3.82
Sump	8.60	9.18	8.42	7.51	7.51	8.07	7.14	6.52	7.35	7.08	7.12	3.97
Treated	8.47	9.08	8.32	7.34	7.40	7.95	7.10	6.27	7.11	6.97	7.08	3.85

Sample Name	PARTICLE SIZE 1.21-1.6 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	9.17	12.83	11.03	9.02	8.06	9.98	7.17	7.41	7.19	8.64	5.8	5.02
Sump	9.16	12.85	11.05	9.05	8.04	6.8	7.19	7.45	7.16	7.38	5.82	5.1
Treated	9.15	12.71	11.02	8.95	8.05	6.57	7.17	7.37	7.16	7.12	5.81	4.98

Sample Name	PARTICLE SIZE 1.61-2.5 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	8.24	19.87	9.12	9.08	7.09	7.83	7.75	7.61	7.53	9.57	7.43	7.31
Sump	8.31	20.11	9.16	9.1	7.12	7.94	7.81	7.63	7.52	9.64	7.45	7.33
Treated	8.27	19.65	9.08	9.04	7.06	7.81	7.67	7.49	7.47	9.44	7.4	7.17

Sample Name	PARTICLE SIZE 11.01-20 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	13.1	8.36	12.11	12.76	11.49	4.16	9.15	10.52	8.41	2.15	5.95	7.11
Sump	13.53	8.42	12.21	13.15	11.72	4.26	9.21	11.27	8.54	2.11	6.12	8.32
Treated	12.08	8.31	11.61	12.63	10.65	4.13	8.73	10.47	7.87	2.05	5.82	7.01

Sample Name	PARTICLE SIZE > 20 micron											
	SET											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	80.75	71.12	88.41	81.74	63.48	45.17	67.22	64.53	48.37	37.09	54.37	49.37
Sump	109.15	98.62	144.37	133.76	89.13	67.18	86.66	87.39	67.81	53.19	64.47	54.84
Treated	65.14	55.82	89.41	86.67	47.95	33.28	62.15	63.24	34.42	27.45	40.76	36.15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 ผลการศึกษาคูณภาพน้ำทิ้งที่ความดัน 0.3 MPa

Sample Name	TIME (hr)	SET											
	PARAMETER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	pH	8.12	8.1	7.96	8.03	8.14	8.12	8.02	8.09	8.13	8.08	7.93	8.03
Sump		7.83	7.84	7.52	7.67	7.82	7.86	7.6	7.7	7.84	7.88	7.62	7.7
Treated		7.71	7.73	7.76	7.65	7.67	7.75	7.79	7.68	7.66	7.74	7.73	7.68
Raw	EC $\mu\text{s/cm}$	1161	1173	1173	1178	1160	1169	1165	1167	1156	1162	1172	1150
Sump		1170	1179	1185	1180	1174	1184	1187	1180	1172	1183	1186	1180
Treated		1170	1179	1176	1170	1180	1178	1183	1180	1171	1180	1184	1172
Sump	TDS (mg/l)	783	788	789	784	786	790	791	785	780	789	790	786
Treated		793	801	803	801	792	798	801	798	791	795	799	792
Raw		795	797	798	793	794	797	798	792	793	794	792	791
Treated	COD (mg/l)	124.2	101.1	357	394.1	129.5	110.5	220.5	290.5	112.1	108.5	216.9	308.5
Raw		81.69	86	498.5	299.3	86.79	89.76	129.4	221.3	82.95	75.67	315.6	224.3
Sump		49.44	49.05	292.1	263.6	50.16	52.37	99.28	132.5	51.27	53.89	254.2	124.2
Raw	O&G (mg/l)	89	95	86	81	90	97	95	80	85	93	86	70
Sump		83	90	76	80	86	95	90	79	80	88	74	72
Treated		37	48	33	40	36	41	35	39	38	43	31	32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-7 ผลการศึกษาคูณภาพน้ำทิ้งที่ความดัน 0.4 MPa

Sample Name	TIME (hr) PARAMETER	SET											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	pH	8.24	8.18	8.18	8.24	8.22	8.19	8.14	8.25	8.23	8.2	8.25	8.26
ก่อนบำบัด		7.13	7.1	7.06	7.02	7.12	7.03	6.73	7.01	7.14	7.08	7	7.03
หลังบำบัด		7.09	7.18	7.03	7.08	7.03	7.08	6.97	7.02	7.06	7.04	6.97	7.02
Raw	EC $\mu\text{s/cm}$	1161	1162	1168	1182	1167	1165	1180	1199	1167	1168	1180	1192
ก่อนบำบัด		1236	1239	1247	1253	1235	1242	1248	1263	1231	1242	1255	1264
หลังบำบัด		1255	1238	1241	1252	1247	1239	1243	1254	1248	1249	1248	1262
Raw	TDS (mg/l)	750	751	757	763	755	753	761	776	754	755	759	768
ก่อนบำบัด		792	801	807	810	801	803	810	820	798	802	807	812
หลังบำบัด		805	803	795	808	808	802	805	814	808	804	809	811
Raw	COD (mg/l)	238.6	343.1	217	220.5	220.4	268.4	154	215.6	261	348.5	259	216.4
ก่อนบำบัด		538.3	368.1	553	225.4	215.4	250.3	204.5	212.3	110.4	245.6	435	214.8
หลังบำบัด		150.7	178.9	98.8	80	106.3	108	60.2	71	79	97.1	66	74
Raw	O&G (mg/l)	124	119	108	117	110	106	110	113	108	108	106	109
ก่อนบำบัด		110	100	107	105	109	100	104	101	102	88	104	100
หลังบำบัด		7	4	4	4	6	4	3	2	5	4	5	3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-8 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งที่ความดัน 0.5 MPa

Sample Name	TIME (hr) PARAMETER	SET											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	pH	8.14	8.17	7.82	8.1	8.16	8.21	8.11	8.1	8.27	8.25	8.1	8.1
ก่อนบำบัด		7.35	7.37	7.34	7.39	7.37	7.38	7.36	7.45	7.42	7.36	7.38	7.45
หลังบำบัด		7.38	7.41	7.24	7.41	7.4	7.46	7.32	7.49	7.42	7.48	7.34	7.48
Raw	EC $\mu\text{s/cm}$	1246	1241	1243	1246	1241	1236	1242	1244	1239	1237	1244	1245
ก่อนบำบัด		1273	1239	1247	1250	1262	1240	1248	1253	1260	1238	1243	1247
หลังบำบัด		1238	1237	1242	1248	1239	1240	1248	1250	1237	1240	1242	1246
Raw	TDS (mg/l)	795	795	796	798	797	796	799	802	799	794	793	797
ก่อนบำบัด		810	794	795	797	812	796	799	799	817	798	800	813
หลังบำบัด		793	796	797	799	794	796	798	805	798	796	796	799
Raw	COD (mg/l)	205.4	201.3	215.8	249.1	181.2	180.3	222.4	318.4	211.6	216.6	191.8	220
ก่อนบำบัด		201.3	198.6	195.3	167.3	216.7	205	185.2	172.1	180.2	150.2	159.5	110.6
หลังบำบัด		81.15	79.78	68.15	64.15	97.31	105.1	69.54	70.22	80.5	78.22	64.81	53.97
Raw	O&G (mg/l)	104	100	105	90	108	101	102	88	103	93	96	83
ก่อนบำบัด		102	100	101	70	103	100	103	90	101	91	102	80
หลังบำบัด		9	6	16	7	11	4	14	6	10	5	12	8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-9 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งที่ความดัน 0.6 MPa

Sample Name	TIME (hr) PARAMETER	SET											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	pH	8.11	8	8.15	8.12	8.22	8.05	8.18	8.17	8.15	8.1	8	8.19
ก่อนบำบัด		7.45	7.4	7.42	7.41	7.39	7.38	7.41	7.37	7.42	7.39	7.37	7.36
หลังบำบัด		7.71	7.63	7.72	7.67	7.48	7.45	7.46	7.42	7.43	7.48	7.32	7.38
Raw	EC $\mu\text{s/cm}$	1098	1104	1108	1104	1059	1060	1072	1069	1059	1064	1069	1070
ก่อนบำบัด		1102	1105	1121	1109	1077	1080	1082	1078	1085	1082	1070	1074
หลังบำบัด		1103	1106	1106	1108	1078	1082	1084	1077	1083	1070	1065	1070
Raw	TDS (mg/l)	740	744	746	745	730	722	730	725	729	730	732	732
ก่อนบำบัด		755	756	752	750	732	733	732	724	736	731	733	740
หลังบำบัด		756	750	748	747	733	735	731	723	731	729	732	741
Raw	COD (mg/l)	248.6	259.9	254.2	268.5	260.5	257.9	259.1	270.4	271.5	258.4	265.2	292.4
ก่อนบำบัด		243.9	257.9	265.2	244.9	259.7	257.6	275	261.8	269.8	256.2	264.7	260.4
หลังบำบัด		129.2	165.9	143.5	130.6	127.6	131.6	101.9	122.7	120.1	129.3	91.98	102.6
Raw	O&G (mg/l)	142	138	128	147	119	122	116	124	129	115	110	125
ก่อนบำบัด		138	132	111	139	115	105	107	120	125	114	109	122
หลังบำบัด		36	34	31	28	28	26	30	21	29	30	29	26

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-10 ผลการศึกษาคูณภาพน้ำทิ้งที่ความดัน 0.7 MPa

Sample Name	TIME (hr) PARAMETER	SET											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw	pH	8.07	8.08	8	8.01	8.01	8.05	8.01	8.03	7.98	8.02	7.93	7.81
ก่อนบำบัด		7.05	7.19	7.15	7.1	7.01	7.03	7.01	7	6.97	7.11	7.08	7.05
หลังบำบัด		7.18	7.14	7.11	7.08	7.11	7.11	7.07	7.1	7.13	7.11	7.12	7.09
Raw	EC $\mu\text{s}/\text{cm}$	1071	1077	1071	1075	1076	1075	1061	1065	1078	1073	1072	1076
ก่อนบำบัด		1077	1081	1088	1099	1081	1085	1083	1085	1082	1080	1084	1089
หลังบำบัด		1075	1073	1079	1079	1079	1081	1072	1072	1080	1080	1077	1074
Raw	TDS (mg/l)	736	735	732	734	732	731	728	730	737	736	730	732
ก่อนบำบัด		738	735	739	741	733	731	731	743	740	739	738	742
หลังบำบัด		737	736	734	737	732	733	734	735	739	739	737	736
Raw	COD (mg/l)	204.8	230.4	238.4	198.1	165	163.1	172.8	168.1	179.8	180.7	189.4	191.5
ก่อนบำบัด		230.6	234.1	240.7	204.5	175.9	168.8	202.7	190.7	190	182.4	190.8	200.6
หลังบำบัด		97.18	126.7	128.9	101.7	89.15	90.14	91.1	97.2	85.77	87.11	87.5	98.1
Raw	O&G (mg/l)	110	129	108	174	100	104	99	105	96	103	96	105
ก่อนบำบัด		101	108	100	113	97	101	91	102	90	100	91	100
หลังบำบัด		34	43	40	55	30	37	33	35	26	34	32	36

ตารางที่ ก-11 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$)ในถังอัดความดันที่เวลาและความดันต่าง ๆ

Time (hr)	Pressure (MPa)				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
1	32.5	31	32.5	32	32
2	32.5	35	32.5	32.5	33.5
3	37	35	32.5	33	35
4	38	37	33.5	35	36

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุธิดา ตีระธัญญา เกิดวันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2516 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2538 เริ่มทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ควบคุมระบบคุณภาพน้ำทิ้ง บริษัทมินิแบไทย จำกัด อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา ในปี พ.ศ. 2539 จนถึงปัจจุบัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย