

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำบัณฑิตขึ้นต้นสำหรับน้ำเสียโรงงานผลิต
นมถั่วเหลืองด้วยกระบวนการตีเอเอฟกับกระบวนการโคแอกกูเลชัน



นาย อุดมศักดิ์ เจียรวิชัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-372-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**COMPARISON OF SOYBEAN MILK WASTEWATER PRIMARY TREATMENT
EFFICIENCY BETWEEN DAF AND COAGULATION**



Mr. Udomsak Jairavit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

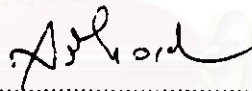
ISBN 974-639-372-3


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดชั้นต้นสำหรับน้ำเสียโรงงานผลิตนมถั่วเหลืองด้วยกระบวนการดีเอเอฟกับกระบวนการโคแอกกูเลชัน
โดย อุดมศักดิ์ เจียรวิชญ
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

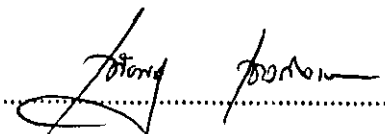

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สรี ชาวเชียร)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อเรศ ศรีสถิตย์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ)

อุดมศักดิ์ เจียรวิชัย : การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในอัตรานำบักขี้ต้นสำหรับน้ำเสียโรงงาน
ผลิตนมถั่วเหลืองด้วยกระบวนการดีเอเอฟกับกระบวนการโคแอกกูเลชัน (COMPARISON OF
SOYBEAN MILK WASTEWATER PRIMARY TREATMENT EFFICIENCY BETWEEN DAF AND
COAGULATION) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 167 หน้า. ISBN 974-639-372-3.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นจากโรงงานผลิตนม
ถั่วเหลืองด้วยกระบวนการดีเอเอฟและกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยปรับเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสีย และ
ปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอค โดยโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ได้แก่ สาร
ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ และสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟต ส่วนโคแอกกูแลนต์เอคที่ใช้ ได้แก่ โพลีเมอร์ประจุ
บวกและโพลีเมอร์ประจุลบ

จากผลการทดลอง พบว่า สภาวะในการบำบัดโดยกระบวนการดีเอเอฟที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ
พีเอช 4.5, ค่าอัตราการเวียนกลับ 150% ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วน A/S 0.0027 มก.อากาศ/มก.ของแข็ง สารละลาย
เฟอร์ริกคลอไรด์ 150 มก/ล และโพลีเมอร์ประจุลบ 2 มก/ล โดยมีเวลาดักเก็บ 30 นาทีและความเร็ว
เฉลี่ยในการลอยขึ้นของตะกอน 0.67 ซม./วินาที ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ที่เคเอ็นและทีเอสเอส
เท่ากับ 90.2% 91.6% และ 90.8% ตามลำดับ โดยมีค่าสารเคมีในการบำบัด 12.11 บาท/ลบ.ม ส่วนการ
วิเคราะห์ตะกอนพบว่า มีปริมาณโปรตีน 45.3% และสารอินทรีย์ 94.8% โดยมีปริมาณตะกอนเกิดขึ้น 4.69
กก/ลบ.ม ซึ่งสามารถขายได้ในราคา 10.41 บาท/ลบ.ม

สภาวะที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือ พีเอช 4.5, สาร
ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 200 มก/ล และโพลีเมอร์ประจุลบ 2 มก/ล โดยมีเวลาดักเก็บ 40 นาทีและความ
เร็วเฉลี่ยในการตกตะกอน 0.425 ซม./วินาที ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ที่เคเอ็นและทีเอสเอส
เท่ากับ 92.6% 93.4% และ 92.6% ตามลำดับ โดยมีค่าสารเคมีในการบำบัด 14.29 บาท/ลบ.ม ส่วน
การวิเคราะห์ตะกอนพบว่า มีปริมาณโปรตีน 39.4% และสารอินทรีย์ 94.7% โดยมีปริมาณตะกอนเกิดขึ้น
4.84 กก/ลบ.ม ซึ่งสามารถขายได้ในราคา 10.65 บาท/ลบ.ม

จากการเปรียบเทียบที่ประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน พบว่า ค่าสารเคมีในการบำบัดโดย
กระบวนการโคแอกกูเลชันนั้นสูงกว่ากระบวนการดีเอเอฟ และตะกอนที่ได้จากกระบวนการทั้งสองนั้นมีองค์ประกอบ
ทางเคมีใกล้เคียงกัน ดังนั้นในช่วงดำเนินการคาดว่ากระบวนการดีเอเอฟที่ใช้อัตราการเวียนกลับ 150%
เป็นกระบวนการที่เหมาะสมทั้งในด้านประสิทธิภาพการบำบัดและค่าสารเคมี

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิติคน *อรทัย ชวาลภาฤทธิ์*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *One*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

CB18065 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: DAF / FLOTATION / SOYBEAN MILK / COAGULATION

UDOMSAK JAIRAVIT : COMPARISON OF SOYBEAN MILK WASTEWATER PRIMARY TREATMENT EFFICIENCY BETWEEN DAF AND COAGULATION. THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF. ORATAHI CHAVALPALIT, M.Sc. 167pp. ISBN 974-639-372-3.

The objective of this research was to study the comparison of soybean milk wastewater primary treatment efficiency between DAF and coagulation. In this experiment, parameters being studied were pH adjustment; concentration of ferric chloride or alum as coagulant adjustment ; concentration of cationic polymer or anionic polymer as coagulant aid adjustment.

From the experimental results found that the best conditions for treated wastewater by DAF were optimum pH as 4.5, optimum recycle as 150% or A/S ratio 0.0027 mg.air/mg.solid, optimum dosage of ferric chloride as 150 mg/l and anionic polymer as 2 mg/l. The detention time and average floating velocity were equal to 30 min and 0.67 cm/sec respectively. The removal efficiency of COD TKN and TSS were 90.2% 91.6% and 90.8% respectively . The cost of chemical was equal to 12.11 Baht/CU.M . Result from sludge analysis found that protein content and organic matter of sludge were 45.3% and 94.8% respectively , while sludge production was 4.69 kg/CU.M and the sale price was 10.41 Baht/CU.M .

The best conditions for treated wastewater by coagulation were optimum pH as 4.5 , optimum dosage of ferric chloride as 200 mg/l and anionic polymer as 2 mg/l . The detention time and average settling velocity were equal to 40 min and 0.425 cm/sec respectively . The removal efficiency of COD TKN and TSS were 92.6% 93.4% and 92.6% respectively . The cost of chemical was equal to 14.29 Baht/CU.M . Result from sludge analysis found that protein content and organic matter of sludge were 39.4% and 94.7% respectively , while sludge production was 4.84 kg/CU.M and the sale price was 10.65 Baht/CU.M .

The cost of chemical from coagulation test was higher than DAF test at the same removal efficiency and sludge recovery from coagulation and DAF had nearly chemical characteristic In consideration of chemical cost and removal efficiency , DAF with 150% recycle was more suitable than coagulation for operation period .

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....
ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อนิสิต.....*Dom Sak / Jaivit*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*Oratahi*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำในเรื่องต่างๆ ทำให้ผู้เขียนสามารถทำการทดลองสำเร็จลุล่วงไปได้ดี

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ สุวี ชาวเขียว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์ และรองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำทางด้านวิชาการแก่ผู้เขียน

ขอขอบคุณ คณะอาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ต่างๆให้กับผู้เขียน

ขอขอบคุณ บริษัท กรีนสปอร์ต จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บน้ำเสียเพื่อนำมาใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท นาโก เคมีคัล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสารเคมีเพื่อนำมาใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมูลนิธิชิน โสภณพนิช ที่ให้ทุนอุดหนุนส่วนหนึ่งในการวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ และมหาวิทยาลัยรังสิต ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการดำเนินงานทดลอง และจัดสร้างชุดทดลองระบบดีเอเอฟเพื่อใช้ในการศึกษา

ขอขอบคุณ เพื่อนานิตตปริญาโท ที่ได้ช่วยเหลือและแนะนำในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณสำหรับความรัก ความห่วงใย และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งที่ผู้เขียนได้รับตลอดมา จากคุณพ่อ คุณแม่ และพี่ น้อง ทุกคนของผู้เขียน ซึ่งมีส่วนทำให้ผู้เขียนมีความมุ่งมั่น เพื่อให้งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
2 ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟลอคคูเลชัน.....	3
2.1.1 ขั้นตอนการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์.....	3
2.1.2 ขั้นตอนการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆเคลื่อนที่มากกระทบกัน.....	4
2.2 โคแอกกูเลชันด้วยสารส้มและสารประกอบเหล็ก.....	6
2.2.1 เคมีของสารส้มและสารประกอบเหล็กในน้ำ.....	6
2.2.2 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มและสารประกอบเหล็ก.....	8
2.3 กลไกโคแอกกูเลชันที่เกิดจากการใช้สารโพลีเมอร์และโคแอกกูแลนท์เอตอื่นๆ.....	9
2.4 การเลือกสารโคแอกกูแลนท์และสารโคแอกกูแลนท์เอต.....	10
2.4.1 ชนิดของโพลีเมอร์.....	10
2.4.1.1 แบ่งตามประจุที่อยู่บนสายโพลีเมอร์.....	10
2.4.1.2 แบ่งตามแหล่งกำเนิด.....	11
2.5 การทำให้ตะกอนลอย.....	12

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.6	วิธีการทำให้ตะกอนลอย.....12
2.6.1	การทำให้ตะกอนลอยด้วยอากาศ.....12
2.6.2	การทำให้ตะกอนลอยด้วยภาวะสูญญากาศ.....14
2.6.3	การทำให้ตะกอนลอยด้วยอากาศละลาย.....15
2.7	กระบวนการผลิตนมถั่วเหลือง.....18
2.8	ลักษณะน้ำเสียของโรงงานตัวอย่าง.....21
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....21
3	แผนงานการวิจัยและการดำเนินงาน.....28
3.1	แผนงานการวิจัยและการดำเนินงาน.....28
3.1.1	การเก็บตัวอย่างน้ำเสียและการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย.....28
3.1.2	กระบวนการที่ใช้ในการทดลอง.....28
3.2	วิธีการดำเนินการทดลอง.....29
3.2.1	การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟแบบไม่ใช้สารเคมี.....29
3.2.2	การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟแบบใช้สารปรับพีเอช.....31
3.2.3	การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟแบบใช้สารโคแอกกูแลนต์.....33
3.2.4	การทดสอบกระบวนการดีเอเอฟแบบใช้สารโคแอกกูแลนต์ ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์เอด.....35
3.2.5	การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารปรับพีเอช.....37
3.2.6	การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนต์.....39
3.2.7	การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์เอด.....41
3.3	พารามิเตอร์ที่ศึกษา.....43
3.3.1	พารามิเตอร์กำหนด.....43
3.3.2	พารามิเตอร์อิสระ.....44
3.3.3	พารามิเตอร์เปลี่ยนแปลง.....44

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.5 วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	46
3.6 วิธีใช้ระบบดีเอเอพีระดับห้องปฏิบัติการ.....	47
3.7 การเตรียมน้ำเพื่อใช้วัดอากาศ.....	48
3.8 วิธีหาค่า f.....	49
4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	50
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย.....	50
4.1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากรันตอนการแช่ถ้วยเหลือง.....	50
4.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียรวม.....	50
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	53
4.2.1 การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารปรับพีเอช.....	53
4.2.2 การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนต์.....	56
4.2.3 การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์เอค.....	60
4.2.4 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	65
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการดีเอเอพี.....	65
4.3.1 การทดสอบกระบวนการดีเอเอพีโดยไม่ใช้สารเคมี.....	65
4.3.2 การทดสอบกระบวนการค	
4.3.3 การทดสอบกระบวนการดีเอเอพีโดยใช้สารโคแอกกูแลนต์.....	75
4.3.4 การทดสอบกระบวนการดีเอเอพีโดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์เอค.....	86
4.3.5 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการดีเอเอพี.....	98
4.4 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของตะกอน.....	99
4.4.1 ผลวิเคราะห์ตะกอนจากการตกตะกอนโดยใช้สารปรับพีเอช.....	100
4.4.2 ผลวิเคราะห์ตะกอนจากการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนต์.....	101

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.4.3 ผลวิเคราะห์ตะกอนจากการตกตะกอนโดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	102
4.4.4 ผลวิเคราะห์ตะกอนจากกระบวนการดีเอเอฟโดยไม่ใช้สารเคมี.....	102
4.4.5 ผลวิเคราะห์ตะกอนจากกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารปรับพีเอช.....	103
4.4.6 ผลวิเคราะห์ตะกอนจากกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารโคแอกกูแลนต์.....	104
4.4.7 ผลวิเคราะห์ตะกอนจากกระบวนการดีเอเอฟโดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	106
4.4.8 สรุปผลการวิเคราะห์ตะกอน.....	107
4.5 การเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างกระบวนการโคแอกกูแลชั่น และกระบวนการดีเอเอฟ.....	109
4.6 ตัวอย่างรูปถ่ายจากการทดลอง.....	116
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	117
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	117
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม.....	118
รายการอ้างอิง.....	119
ภาคผนวก.....	121
ภาคผนวก ก การเก็บข้อมูลผลการทดลอง.....	122
ภาคผนวก ข การหาค่า f และ s_p	155
ภาคผนวก ค การคำนวณหาค่า A/S ratio.....	160
ภาคผนวก ง การคิดปริมาณโปรตีน.....	162
ภาคผนวก จ การประเมินค่าสารเคมีในการบำบัด.....	164
ประวัติผู้เขียน.....	167

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของฟองอากาศกับความเร็วลอยขึ้น
ของฟองอากาศ.....13

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอากาศละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ณ ความดันบรรยากาศปกติ.....16

ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำเสียรวมของโรงงานตัวอย่าง.....21

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเคมีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี...23

ตารางที่ 2.5 พารามิเตอร์ของกระบวนการทำให้ตะกอนลอยตัว.....23

ตารางที่ 2.6 ปริมาณการผลิตโปรตีนและขนาดของอนุภาคที่เกิดจากสารสร้างตะกอน.....25

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำบำบัดระหว่างกระบวนการลอยตัว
ด้วยอากาศละลายและกระบวนการตกตะกอน.....27

ตารางที่ 3.1 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในชั้นน้ำ.....46

ตารางที่ 3.2 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในชั้นตะกอน.....46

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่ถังเหลือง.....51

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียรวม.....52

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอนที่พีเอชต่างๆ.....54

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอนด้วยสารส้มที่ปริมาณต่างๆ.....57

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอนด้วยสารFeCl₃ที่ปริมาณต่างๆ.....57

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอนด้วยสารFeCl₃ 200 มก/ล
ร่วมกับโพสิเมอร์ประจุบวกที่ปริมาณต่างๆ.....61

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์น้ำส่วนบนหลังตกตะกอนด้วยสารFeCl₃ 200 มก/ล
ร่วมกับโพสิเมอร์ประจุลบที่ปริมาณต่างๆ.....61

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำหลังการทดสอบดีเอเอฟที่ค่าอัตราการเวียนกลับต่างๆ.....66

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำที่ค่าพีเอช 3.5 โดยทดสอบที่อัตราการเวียนกลับต่างๆ.....69

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำที่ค่าพีเอช 4.5 โดยทดสอบที่อัตราการเวียนกลับต่างๆ.....69

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำที่ค่าพีเอช 5.5 โดยทดสอบที่อัตราการเวียนกลับต่างๆ.....70

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำที่ค่าพีเอช 7.0 โดยทดสอบที่อัตราการเวียนกลับต่างๆ.....70

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำที่ค่าพีเอช 8.0 โดยทดสอบที่อัตราการเวียนกลับต่างๆ.....	71
ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำที่ค่าพีเอช 9.0 โดยทดสอบที่อัตราการเวียนกลับต่างๆ.....	71
ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อเติมสารส้มที่ปริมาณต่างๆ.....	76
ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ ที่ปริมาณต่างๆ.....	76
ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ 90% 120% และ 150% เมื่อเติมสารส้มที่ปริมาณต่างๆ.....	79
ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ 90% 120% และ 150% เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ ที่ปริมาณต่างๆ.....	80
ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับเมื่อ เติมสาร $FeCl_3$ 150มก/ล ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวกและโพลีเมอร์ประจุลบ ที่ปริมาณต่างๆ.....	87
ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ 90% 120%และ 150% เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก ที่ปริมาณต่างๆ.....	91
ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ 90% 120%และ 150% เมื่อเติมสาร $FeCl_3$ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ที่ปริมาณต่างๆ.....	92
ตารางที่ 4.22 เกณฑ์การพิจารณาในการรับซื้อกากตะกอนโปรตีน.....	98
ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ตะกอนในแต่ละกลุ่มการทดลอง.....	99
ตารางที่ 4.24 ลักษณะตะกอนจากการตกตะกอนและการทดสอบดีเอเอฟ.....	108
ตารางที่ 4.25 ปริมาณตะกอนและราคาตะกอนของแต่ละกลุ่มการทดลอง.....	110
ตารางที่ 4.26 การประเมินราคาสารเคมีในการบำบัดของแต่ละกลุ่มการทดลอง.....	111
ตารางที่ 4.27 ประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละกลุ่มการทดลอง.....	113

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กลไกการสร้างโคแอกกูเลชันแบบเชื่อมด้วยโพลีเมอร์.....	5
รูปที่ 2.2 Stability diagram ที่ควบคุมกลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม.....	8
รูปที่ 2.3 รายละเอียดโครงสร้างของถัง air flotation.....	14
รูปที่ 2.4 ระบบดีเอเอฟแบบไม่มีการเวียนกลับ.....	15
รูปที่ 2.5 ระบบดีเอเอฟแบบมีการเวียนกลับ.....	16
รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตนมถั่วเหลืองแบบ water extract ของโรงงานตัวอย่าง.....	20
รูปที่ 2.7 ผลของ A/S ratio ที่มีต่อคุณภาพน้ำที่ผ่านระบบดีเอเอฟ.....	24
รูปที่ 3.1 แผนผังการทดลองกระบวนการดีเอเอฟแบบไม่ใช้สารเคมี.....	30
รูปที่ 3.2 แผนผังการทดลองกระบวนการดีเอเอฟแบบใช้สารปรับพีเอช.....	32
รูปที่ 3.3 แผนผังการทดลองกระบวนการดีเอเอฟแบบใช้สารโคแอกกูแลนต์.....	34
รูปที่ 3.4 แผนผังการทดลองกระบวนการดีเอเอฟแบบใช้สารโคแอกกูแลนต์ ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์เฮด.....	36
รูปที่ 3.5 แผนผังการทดลองกระบวนการตกตะกอนแบบใช้สารปรับพีเอช.....	38
รูปที่ 3.6 แผนผังการทดลองกระบวนการตกตะกอนแบบใช้สารโคแอกกูแลนต์.....	40
รูปที่ 3.7 แผนผังการทดลองกระบวนการตกตะกอนแบบใช้สารโคแอกกูแลนต์ ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์เฮด.....	42
รูปที่ 3.8 ชุดทดสอบระบบดีเอเอฟระดับห้องปฏิบัติการ.....	45
รูปที่ 3.9 รายละเอียดเครื่องมือทดสอบระบบดีเอเอฟ.....	47
รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเทียบกับเวลา.....	49
รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณ COD TKN และ TSS คงเหลือในน้ำส่วนบนที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	55
รูปที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD TKN และ TSS ที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	55
รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณ COD TKN และ TSS คงเหลือในน้ำส่วนบนหลังการตกตะกอน เมื่อเติมสาร alum และ FeCl ₃ ในปริมาณต่างๆ.....	58
รูปที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD TKN และ TSS เมื่อเติมสาร alum และ FeCl ₃ ในปริมาณต่างๆ.....	59

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในน้ำส่วนบนหลังการตกตะกอน ด้วยFeCl ₃ 200มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	63
รูปที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดCOD TKN และTSS เมื่อใช้ FeCl ₃ 200มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	63
รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในน้ำส่วนบนหลังการตกตะกอน ด้วยFeCl ₃ 200มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	64
รูปที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดCOD TKN และTSS เมื่อใช้ FeCl ₃ 200มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	64
รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำหลังการทดสอบ ดีเอเอฟที่ค่าอัตราการเวียนกลับต่างๆ.....	67
รูปที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดCOD TKN และTSS หลังการทดสอบ ดีเอเอฟที่ค่าอัตราการเวียนกลับต่างๆ.....	67
รูปที่ 4.11 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟ แบบไม่มีการเวียนกลับ ที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	72
รูปที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดCOD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟ แบบไม่มีการเวียนกลับ ที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	72
รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟ แบบมีการเวียนกลับ ที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	73
รูปที่ 4.14 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดCOD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟ แบบมีการเวียนกลับ ที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	74
รูปที่ 4.15 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟ แบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อเติมสารalumและ FeCl ₃ ในปริมาณต่างๆ.....	77
รูปที่ 4.16 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดCOD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟ แบบไม่มีการเวียนกลับ เมื่อเติมสารalumและ FeCl ₃ ในปริมาณต่างๆ.....	78

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.17 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมี การเวียนกลับ90% 120%และ150% เมื่อเติมสารส้มที่ปริมาณต่างๆ.....	82
รูปที่ 4.18 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมี การเวียนกลับ90% 120%และ150% เมื่อเติมสารส้มที่ปริมาณต่างๆ.....	83
รูปที่ 4.19 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมี การเวียนกลับ90% 120%และ150% เมื่อเติมสารFeCl ₃ ที่ปริมาณต่างๆ.....	84
รูปที่ 4.20 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟแบบมี การเวียนกลับ90% 120%และ150% เมื่อเติมสารFeCl ₃ ที่ปริมาณต่างๆ.....	85
รูปที่ 4.21 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟ แบบไม่มีการเวียนกลับเมื่อเติมสารFeCl ₃ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณต่างๆ.....	89
รูปที่ 4.22 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟ แบบไม่มีการเวียนกลับเมื่อเติมสารFeCl ₃ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณต่างๆ.....	89
รูปที่ 4.23 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟ แบบไม่มีการเวียนกลับเมื่อเติมสารFeCl ₃ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ในปริมาณต่างๆ.....	90
รูปที่ 4.24 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟ แบบไม่มีการเวียนกลับเมื่อเติมสารFeCl ₃ 150 มก/ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ในปริมาณต่างๆ.....	90
รูปที่ 4.25 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟที่อัตรา การเวียนกลับที่ 90% 120%และ150% เมื่อเติมสารFeCl ₃ 150 มก/ล ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ.....	94

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.26 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟที่อัตรา การเวียนกลับที่ 90% 120%และ150% เมื่อเติมสารFeCl ₃ 150 มก/ล ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ.....	95
รูปที่ 4.27 แสดงปริมาณ COD TKN และTSS คงเหลือในชั้นน้ำ สำหรับระบบดีเอเอฟที่อัตรา การเวียนกลับที่ 90% 120%และ150% เมื่อเติมสารFeCl ₃ 150 มก/ล ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณต่างๆ.....	96
รูปที่ 4.28 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD TKN และTSS สำหรับระบบดีเอเอฟที่อัตรา การเวียนกลับที่ 90% 120%และ150% เมื่อเติมสารFeCl ₃ 150 มก/ล ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณต่างๆ.....	97
รูปที่ 4.29 แสดงสภาพการขาดอากาศในถังความดัน.....	116
รูปที่ 4.30 แสดงสภาพการแยกชั้นตะกอนในถังลอยตัว.....	116