


การกำจัดสีและซีไอดีจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดบางส่วน
โดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า



นางสาวปาริชาติ หมื่นสีทา

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6893-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COLOR AND COD REMOVAL FROM PALM OIL MILL PARTIALLY TREATED WASTEWATER
BY USING ELECTROCOAGULATION PROCESS



Miss Parichat Muensita

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

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6893-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดบางส่วนโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า
โดย	นางสาวปาริชาติ หมั่นสีทา
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

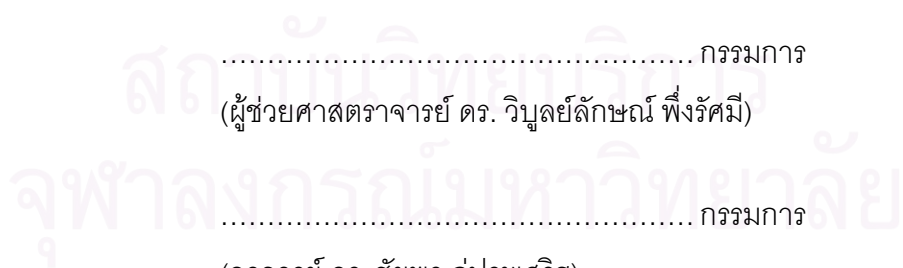
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
 (รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ลักษณะ ฟังรัมย์)

..... กรรมการ
 (อาจารย์ ดร. ชัยพร ภูประเสริฐ)



ปาริชาติ หมื่นสีทา : การกำจัดสีและซีไอดีจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดบางส่วนโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า(COLOR AND COD REMOVAL FROM PALM OIL MILL PARTIALLY TREATED WASTEWATER BY USING ELECTROCOAGULATION PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 111 หน้า. ISBN 974-17-6893-1

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดสีและซีไอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดบางส่วนจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ที่ใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ 3 ค่า คือ 8, 10 และ 12 โวลต์ ปรับเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกัก 4 ค่า คือ 20, 30, 40 และ 90 นาที ซึ่งแบ่งเป็น 3 การทดลอง การทดลองที่ 1 ทำเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้น้ำเสียจากบ่อบ่มมาผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์ เวลาเก็บกัก 30 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี คือ 91.77% ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 51.84% ในขณะที่ค่าความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 นาที มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 65.21 บาท/ลูกบาศก์เมตร และค่าใช้จ่ายเฉพาะค่าขั้วไฟฟ้า 29.59 บาท/ลูกบาศก์เมตร การทดลองที่ 2 ทำเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 30 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี คือ 85.89% ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 56.88% ในขณะที่ค่าความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 นาที มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 59.49 บาท/ลูกบาศก์เมตร และค่าใช้จ่ายเฉพาะค่าขั้วไฟฟ้า 27.68 บาท/ลูกบาศก์เมตร จากผลการทดลองพบว่า เมื่อมีการเพิ่มความต่างศักย์หรือเวลาเก็บกักจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงขึ้น แต่จะทำให้อุณหภูมิและพีเอชสูงขึ้นเช่นกัน เนื่องจากน้ำเสียเริ่มต้นมีค่าซีไอดีสูงมาก จึงทำให้น้ำเสียหลังการบำบัดยังมีค่าซีไอดีเกินมาตรฐาน จึงไม่สามารถทิ้งน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ ดังนั้นน้ำเสียจากบ่อบ่มสามารถกำจัดสีได้แต่ยังคงมีค่าซีไอดีเกินมาตรฐานอยู่ ส่วนน้ำจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถนำไปบำบัดต่อด้วยระบบทางชีววิทยา และได้เลือกใช้ที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 นาที เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ส่วนการทดลองที่ 3 ทำเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทางชีววิทยาของน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่าน และไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า พบว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี และบีไอดี เท่ากับ 66.82 % และ 83.33% น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี และบีไอดี เท่ากับ 84.79 % และ 93.83 % ได้ค่าบีไอดีไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้

ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2547	

4670381221 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : PALM OIL MILL WASTEWATER/ ELECTROCOAGULATION / COD REMOVAL / COLOR REMOVAL

PARICHAT MUENSITA : COLOR AND COD REMOVAL FROM PALM OIL MILL

PARTIALLY TREATED WASTEWATER BY USING ELECTROCOAGULATION PROCESS.

THESIS ADVISOR :ASSOC.PROF ORATHAI CHAVALPARIT,111pp.ISBN 974-17-6893-1.

The objective of this research was to study the feasibility of color and COD removal from palm oil mill partially treated wastewater by using electrocoagulation process. This experiment used iron as anode. Voltage was varied at 8, 10 and 12 volt. Retention time was varied at 20, 30, 40 and 90 minute. The research was divided into 3 parts. The first part was the study of optimum removal efficiencies and cost of palm oil mill wastewater from maturation pond. The second part was the study of optimum removal efficiencies and cost of palm oil mill from anaerobic pond. The final part of study was the biodegradation study compared between palm oil mill partially treated wastewater with and without passing electrocoagulation process. Activated sludge was employed in this experiment. The result of the study showed that the optimum removal efficiencies of of palm oil mill wastewater from maturation pond was achieved at the voltage of 10 volt, retention time of 30 minutes. The removal efficiencies of color and COD equaled to 91.77% and 51.84% respectively. The cost of treatment by applying voltage at 8 volt, retention time of 20 minute was 65.21 bath/m³. For the study of optimum removal efficiencies of palm oil mill from anaerobic pond, the result showed that the removal efficiencies of color and COD increased when increasing voltage and retention time. The optimum condition of electrocoagulation for treating wastewater is at voltage of 12 volt, retention time of 30 minutes. The removal efficiencies of color and COD equaled to 85.89% and 56.88% respectively. The cost of treatment at voltage of 8 volt, retention time of 20 minute was equal to 59.49 bath/m³. However COD concentration in effluent has still higher that Thai effluent standard. For the biodegradation study of wastewater from anaerobic pond can be concluded that wastewater from anaerobic pond which passing electrocoagulation process before treating with aerobic treatment can achieved COD and BOD removal efficiencies of 84.79% and 93.83%, respectively and BOD concentration in effluent meet the Thai effluent standard at 20 mg/l.

Department Environmental Engineering Student's Signature.....

Field of study Environmental Engineering Advisor's Signature.....

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ พิ้งรัมย์ อาจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอน และถ่ายทอดความรู้ประสิทธิภาพวิชาแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์นันทรัฐ อินยิ้ม อาจารย์ธนพัฒน์ ไปเรียนนท์ และพี่มนชัย ขอบธรรม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่ได้ให้คำแนะนำ เพื่อเพื่อสถานที่ เครื่องมือ และสารเคมีในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณธนารักษ์ พงษ์เกตรา ประธานกรรมการบริษัททักษิณปาล์ม(2521) จำกัด และคุณเจนต์ แก้วเกื้อ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลและน้ำเสียที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้ความรัก ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนประสบผลสำเร็จ

ขอขอบคุณแป๊ะ ศักดิ์ชัย อังคสิงห์ เป็นอย่างมาก และขอบคุณโอห์ม เก๋ นกซี ตัก พี่อ่อง พี่ดอน พี่เรือง พี่จิ น้องอู๋ม น้องอ้อม น้องไนซ์ และน้อง ๆ ที่รวมๆ สำหรับทุก ๆ ความช่วยเหลือที่มีให้จนสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ร่วมเรียนร่วมทำงานด้วยกันตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี	3
2.1.1 หลักการของเซลล์ไฟฟ้าเคมี	3
2.1.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าในเซลล์ไฟฟ้า	4
2.1.3 ศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโตรดเดี่ยวและศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโตรดมาตรฐาน	5
2.1.4 กฎของฟาราเดย์	6
2.1.5 ค่าการนำไฟฟ้า	9
2.1.6 การแลกเปลี่ยนประจุและการเคลื่อนที่ของประจุ	10
2.1.7 ปัจจัยที่ต้องควบคุมของเซลล์ไฟฟ้าเคมี	11
2.1.8 หลักการในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ไฟฟ้าเคมี	11
2.1.9 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในการกำจัดสีด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	13
2.1.10 ข้อดี-ข้อเสียของกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	14
2.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย	15
2.2.1 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย	15
2.2.2 สี	16
2.2.3 กระบวนการที่ใช้กำจัดสี	16
2.3 อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม	18

บทที่	หน้า
2.3.1 ประเภทของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	18
2.3.2 กระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิต	
มาตรฐานแบบหีบเปียก	19
2.3.3 น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	23
2.3.4 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	24
2.3.5 น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการศึกษา	26
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
2.4.1 น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	28
2.4.2 กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	31
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย	33
3.1 แผนการวิจัย	33
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	33
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	36
3.3.1 การบำบัดโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	36
3.3.2 การศึกษาค่าใช้จ่ายในการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ...	41
3.3.3 การศึกษาการย่อยสลายทางชีววิทยาของน้ำเสียที่ผ่าน และไม่ผ่าน	
กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	41
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์	44
4.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	44
4.2 การทดลองที่ 1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการรวมตะกอน	
ด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่อป๋ม(บ่อสุดท้าย)	45
4.2.1 อุณหภูมิ	45
4.2.2 สี	46
4.2.3 ซีไอดี	50
4.2.4 พีไอซี	52
4.2.5 ของแข็งแขวนลอย	52
4.2.6 SV60	53
4.2.7 ความนำไฟฟ้า	54
4.2.8 สรุปลักษณะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม	55

บทที่	หน้า
4.3 การทดลองที่ 2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการรวมตะกอน.....	
ด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน	57
4.3.1 อุณหภูมิ	57
4.3.2 สี	58
4.3.3 ซีโอดี.....	61
4.3.4 พีเอช	62
4.3.5 ของแข็งแขวนลอย	63
4.3.6 SV60	64
4.3.7 ความนำไฟฟ้า	65
4.3.8 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อบำบัด	
แบบไม่ใช้ออกซิเจน	65
4.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	67
4.4.1 ค่ากระแสไฟฟ้า	67
4.4.2 ค่าขั้วไฟฟ้า (เหล็ก)	68
4.4.3 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	71
4.5 การทดลองที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทางชีววิทยาของ	
น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการ	
รวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	74
4.5.1 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบ	74
4.5.2 การ Start Up ระบบ	76
4.5.3 น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน	76
4.5.4 น้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่านกระบวนการ	
รวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	80
4.5.5 เปรียบเทียบน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการ	
รวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	84
4.6 เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ	86
4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดและพารามิเตอร์ที่เหลือ	87
4.8 การนำไปออกแบบระบบที่ใช้งานจริง	87
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	88
5.1 สรุปผลการทดลอง	88

บทที่	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	89
รายการอ้างอิง	90
ภาคผนวก	95
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง	96
ภาคผนวก ข การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าและค่าเหล็ก	108
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	111



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความหมายของเครื่องหมายของ ΔG และ E	5
ตารางที่ 2.2 ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโทรดต่าง ๆ	7
ตารางที่ 2.3 ประเภทของน้ำเสียที่ใช้บำบัดแบบเคมีไฟฟ้า	14
ตารางที่ 2.4 ลักษณะสมบัติน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดและออกจากระบบบำบัดของ	
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ศึกษา (พ.ศ. 2545)	26
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์	37
ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์	38
ตารางที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	44
ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียจากบ่อป๋ม	45
ตารางที่ 4.3 การเพิ่มขึ้นของค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสีย	
จากบ่อป๋ม	56
ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียจากบ่อบำบัด	
แบบไม่ใช้ออกซิเจน	57
ตารางที่ 4.5 การเพิ่มขึ้นของค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสีย	
จากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	66
ตารางที่ 4.6 ค่าใช้จ่ายของระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าของน้ำเสียจากบ่อป๋มและน้ำเสีย	
จากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน	70
ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด และค่าใช้จ่าย	73
ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ เวลาเก็บกักคังที่	73
ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเมื่อเพิ่มเวลาเก็บกัก ความต่างศักย์คังที่	74
ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบ	75
ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	
วิธีต่าง ๆ	86
ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋มและบ่อไม่ใช้ออกซิเจน ...	87
ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่อป๋มที่ความต่างศักย์.....	
8 โวลต์	97
ตารางที่ ก-2 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่อป๋มที่ความต่างศักย์	
10 โวลต์	98

ตารางที่

ตารางที่ ก-3 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่อป่ที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์	99
ตารางที่ ก-4 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่อไม่ใช้ออกซิเจนที่ ความต่างศักย์ 8 โวลต์	100
ตารางที่ ก-5 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่อไม่ใช้ออกซิเจนที่ ความต่างศักย์ 10 โวลต์	101
ตารางที่ ก-6 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่อไม่ใช้ออกซิเจนที่ ความต่างศักย์ 12 โวลต์	102
ตารางที่ ก-7 ผลการทดลองหาค่าอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของกระบวนการทางชีวภาพ	103
ตารางที่ ก-8 ผลการทดลองหาค่า ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และเหล็ก	103
ตารางที่ ก-9 ผลการทดลองกระบวนการทางชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อบำบัด แบบไม่ใช้ออกซิเจน	104
ตารางที่ ก-10 ผลการทดลองกระบวนการทางชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อบำบัด แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	106
ตารางที่ ข-1 ตารางการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าและค่าเหล็ก	110

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเกิดปฏิกิริยาในเซลล์ไฟฟ้าเคมี	3
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างเครื่องปฏิกิริยาที่ใช้ในระบบวนการไฟฟ้าเคมีแบบต่าง ๆ	12
รูปที่ 2.3 ผังกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม	20
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างผังกระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบหีบเปียก.....	21
รูปที่ 2.5 ผังระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ศึกษา	27
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง	34
รูปที่ 3.2 ลักษณะของขั้วเหล็กที่ใช้ในการทดลอง	35
รูปที่ 3.3 กลไกที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยา	35
รูปที่ 3.4 การเปรียบเทียบหาชนิดของน้ำเสียที่เหมาะสมในการบำบัดโดยใช้ การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	40
รูปที่ 3.5 วิธีการทดลองกระบวนการทางชีวภาพ.....	42
รูปที่ 3.6 ถังปฏิกิริยากระบวนการทางชีวภาพ.....	43
รูปที่ 4.1 คุณหมุมิหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม	46
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	46
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม	48
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	48
รูปที่ 4.3 สีที่เหลือหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม	48
เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน	48
รูปที่ 4.4 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์	49
รูปที่ 4.5 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์	49
รูปที่ 4.6 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์	49
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม	51
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	51
รูปที่ 4.8 ซีไอดีที่เหลือหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม	51
เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน	51
รูปที่ 4.9 พีเอชหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม	52
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	52

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม	
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	53
รูปที่ 4.11 ของแข็งแขวนลอยที่เหลือหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม	
เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน	53
รูปที่ 4.12 SV60 ของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋มเมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	54
รูปที่ 4.13 ค่าความนำไฟฟ้าหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม	
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	55
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย.....	
ของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม	56
รูปที่ 4.15 คุณหมูลหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	58
รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	59
รูปที่ 4.17 สีที่เหลือหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	
เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน	59
รูปที่ 4.18 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์	60
รูปที่ 4.19 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์	60
รูปที่ 4.20 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์	60
รูปที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	61
รูปที่ 4.22 ซีโอดีที่เหลือหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	
เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน	62
รูปที่ 4.23 พีเอชหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	63
รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการบำบัดน้ำเสียจาก	
บ่อไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	63
รูปที่ 4.25 ของแข็งแขวนลอยที่เหลือหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจาก	
บ่อไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน	64
รูปที่ 4.26 SV60 ของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	64

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.27 ค่าความนำไฟฟ้าหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	65
รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของการบำบัดน้ำเสียจาก	
บ่อไม่ใช้ออกซิเจน	66
รูปที่ 4.29 กระแสไฟฟ้าหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อบ่ม	
เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน	67
รูปที่ 4.30 กระแสไฟฟ้าหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	
เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน	68
รูปที่ 4.31 ปริมาณขี้เหล็กที่สลายไปหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อบ่ม	
เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน	69
รูปที่ 4.32 ปริมาณขี้เหล็กที่สลายไปหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจาก	
บ่อไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน	69
รูปที่ 4.33 อัตราส่วนบีไอดีต่อซีไอดีของน้ำเสีย	76
รูปที่ 4.34 ซีไอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียจาก	
บ่อไม่ใช้ออกซิเจน	77
รูปที่ 4.35 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	77
รูปที่ 4.36 บีไอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียจาก	
บ่อไม่ใช้ออกซิเจน	78
รูปที่ 4.37 ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดีของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	78
รูปที่ 4.38 ค่าสีของระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	79
รูปที่ 4.39 ค่า SV 30 ของระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	79
รูปที่ 4.40 ค่า SVI ของระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	80
รูปที่ 4.41 ซีไอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่าน	
กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	81
รูปที่ 4.42 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการ	
รวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	81
รูปที่ 4.43 บีไอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่าน	
กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	82
รูปที่ 4.44 ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดีของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการ	
รวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	82

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.45 ค่าสีของระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการ	
รวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	83
รูปที่ 4.46 ค่า SV 30 ของระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการ	
รวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	83
รูปที่ 4.47 ค่า SVI ของระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการ	
รวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	84



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญทางเศรษฐกิจอย่างหนึ่งของประเทศ เนื่องจากน้ำมันปาล์มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมด้านอาหาร อุตสาหกรรมโพลิโอเคมีคอล แม้แต่ด้านพลังงาน เช่น ไบโอดีเซล ทั้งนี้พื้นที่ปลูกต้นปาล์มส่วนใหญ่จะอยู่ทางภาคใต้ของไทย ได้แก่ ชุมพร กระบี่ สุราษฎร์ธานี ตรัง และ สตูล เป็นต้น

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบ่งออกตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตแบบหีบเปียกหรือสกัดแยก โรงงานจะมีขนาดใหญ่ และมีกำลังการผลิตสูง และโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตแบบหีบแห้งหรือสกัดรวม โรงงานประเภทนี้ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กและใช้เงินลงทุนต่ำ

จากการที่อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณของเศษวัสดุที่เหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เช่น ทะลายปาล์มเปล่า เปลือกผลปาล์ม กะลาปาล์ม และน้ำเสีย โดยเฉพาะน้ำเสียจากกระบวนการผลิต ซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม มีปริมาณเฉลี่ยถึง 0.87 ลบ.ม./ตันทะลายปาล์มสด และน้ำเสียนี้นับเป็นอันตรายที่มีปริมาณสูง โดยมีค่าภาวะซีไอดี สารแขวนลอย และน้ำมัน เท่ากับ 52.45, 12.48 และ 8.72 กก./ตันทะลายปาล์มสด ตามลำดับ และมีลักษณะเฉพาะคือเป็นอิมัลชันซึ่งทำให้ของแข็งไม่เกิดการตกตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้ (พูนสุข ประเสริฐสรรพ, อรัญ หันพงศ์กิตติกุล, และโสภา จันทภาโส, 2544ก) น้ำเสียที่มีความสกปรกสูงนี้เมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแล้วก็จะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ลงได้ แต่พบว่าน้ำเสียยังคงมีสีน้ำตาลเข้มและค่าซีไอดีสูงอยู่ ดังนั้น โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจึงไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ ต้องกักเก็บไว้ภายในบริเวณโรงงานซึ่งทำให้ต้องใช้พื้นที่จำนวนมาก

การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่สามารถกำจัดสีและซีไอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถสร้างและดูแลระบบได้ง่าย นอกจากนี้โรงงานยังสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เองจากการใช้เศษวัสดุที่เหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม เช่น ทะลายปาล์มเปล่า เปลือกผลปาล์ม กะลาปาล์ม จึงเป็นวิธีที่สามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นหรือระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สามของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อลดสีและซีไอดีในน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดบางส่วน of โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียที่ผ่านบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนและน้ำเสียจากบ่อบำบัดโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า
4. เพื่อศึกษาความสามารถในการถูกบำบัดของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยวิธีการบำบัดชีวภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน(บ่อที่ 7) และน้ำเสียในบ่อบำบัด(บ่อสุดท้าย)
2. งานวิจัยนี้ใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าระดับห้องปฏิบัติการ เป็นการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบที่ละเท (Batch)
3. ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองเป็นขั้วเหล็ก
4. ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1.5 เซนติเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีและซีโอดีสูง
2. ผลของการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งมีสีน้ำตาลเข้มและปริมาณสารอินทรีย์สูงให้เป็นที่ไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ทำให้โรงงานสามารถทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ รวมทั้งตะกอนจากการบำบัดสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืช

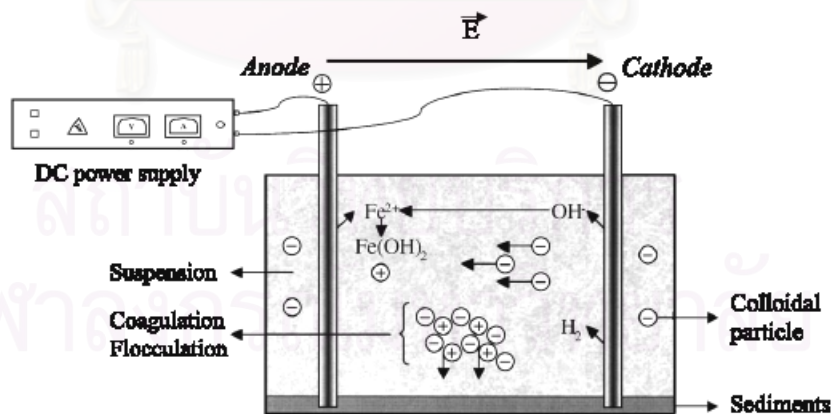
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

2.1.1 หลักการของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

หลักการของเซลล์ไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไลติกเซลล์นั้น ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยจะใช้ขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้วและสารละลายนำไฟฟ้างดรูปที่ 2.1 เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ถังปฏิกริยาที่ใช้โลหะเป็นขั้วไฟฟ้า จะเกิดปฏิกริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนหรือปฏิกริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (ปฏิกริยารีดอกซ์) ของขั้วไฟฟ้า เช่น เหล็ก โดยจะเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันขึ้นที่ขั้วบวกหรือขั้วแอโนด ทำให้โลหะเกิดการสึกกร่อนและละลายอยู่ในน้ำดังสมการที่ (2.1) และ (2.2) ในขณะเดียวกันที่ขั้วลบหรือขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกริยารีดักชันของน้ำ ซึ่งน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) ดังสมการที่ (2.3) เมื่อเวลาผ่านไป น้ำจะมีสภาพเป็นด่างและทำให้เกิดการตกตะกอนของเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอริกไอออน (Fe^{3+}) ในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_{2(S)}$) และเฟอริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_{3(S)}$) (ปริเมษ เจริญนพคุณ, 2545 อ้างถึงใน วรรณวรรณ เทียงวรรณกานต์, 2546)

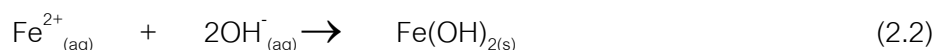


รูปที่ 2.1 การเกิดปฏิกริยาในเซลล์ไฟฟ้าเคมี

ที่มา : Larue และ Vorobiev, 2003.

ขั้วเหล็ก

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่แอโนด



การเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่แคโทด



การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์



2.1.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าในเซลล์ไฟฟ้า

ในเซลล์ไฟฟ้ามักมีการไหลของกระแสไฟฟ้า เพราะมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำ ในการผลักดันให้ประจุ 1 คูลอมบ์ เลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในวงจรนั้นจะต้องมีการรับหรือปล่อยพลังงานเกิดขึ้นด้วยเสมอ

ในกรณีที่เซลล์ไฟฟ้าหนึ่งต้องการพลังงาน 1 จูล (หรือให้พลังงานออกมา 1 จูล) ในการที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุ 1 คูลอมบ์ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในเซลล์จะมีความหมายว่า จุดสองจุดนั้นมีความต่างศักย์เท่ากับ 1 โวลต์ ดังนั้น 1 โวลต์จึงมีค่าเท่ากับ 1 จูลต่อคูลอมบ์ และทางไฟฟ้าเคมีมักจะแทนเทอมโวลต์เตจด้วยเทอมแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force, emf) จากความหมายของพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้น ทำให้เห็นได้ว่า

$$\text{งานทางไฟฟ้าสุทธิ } (W_{\text{elec}}) = (\text{coulombs})(\text{volt}) \quad (2.5)$$

แต่งานที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้านั้นก็มีการถ่ายเทอิเล็กตรอน ดังนั้น จำนวนประจุในหน่วยคูลอมบ์จึงขึ้นกับจำนวนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยา ซึ่งทุก ๆ 1 โมลของอิเล็กตรอนจะมีปริมาณประจุเท่ากับ 96,487 คูลอมบ์ สมมติว่าในปฏิกิริยาในเซลล์ไฟฟ้ามีการถ่ายเทอิเล็กตรอน n โมล ก็จะมีปริมาณประจุ $= (n)(96,487)$ หรือ $= nF$ คูลอมบ์ ในเมื่อ F คือ ค่าคงที่ฟาราเดย์ $= 96,487$ คูลอมบ์ต่อโมล สมการ (2.5) จะกลายเป็น

$$W_{\text{elec}} = (nF)(E) = nFE \quad (2.6)$$

แต่งานนี้จะเกิดขึ้นได้ก็จะต้องมีการลดพลังงานอิสระที่มีอยู่ในเซลล์ด้วย แต่ในกรณีที่ปฏิกิริยาในเซลล์เกิดขึ้นอย่างผันกลับ (reversible) การลดพลังงานอิสระ ($-\Delta G$) ก็จะทำกับงานที่กระทำ ดังนั้น

$$\Delta G = -nEF \quad (2.7)$$

สมการนี้เป็นสมการที่มีความสำคัญมาก เพราะเป็นสมการที่เชื่อมระหว่างความรู้ทางเทอร์โมไดนามิกส์เข้ากับไฟฟ้าเคมี ดังนั้น ถ้าวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์แล้ว ก็จะหาสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ต่าง ๆ เช่น ΔG , ΔH และ ΔS ได้ สำหรับการหา ΔH และ ΔS นั้นจะต้องทำการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน แล้วนำมาเขียนกราฟ

เครื่องหมายของ ΔG ว่าในปฏิกิริยาพวกเกิดได้เอง ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิและความดันหนึ่ง ๆ ΔG จะมีเครื่องหมายเป็นลบ แต่ถ้าเป็นพวกที่เกิดไม่ได้เอง เครื่องหมายหน้า ΔG จะเป็นบวก ถ้าปฏิกิริยาอยู่ในสภาวะสมดุล ΔG จะเท่ากับศูนย์ แต่ ΔG และแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กันดังสมการ (2.7) เครื่องหมายของแรงเคลื่อนไฟฟ้าย่อมจะระบุให้ทราบว่าปฏิกิริยาในเซลล์นั้นเป็นแบบเกิดได้เอง หรือเกิดไม่ได้เอง หรืออยู่ในภาวะสมดุล ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความหมายของเครื่องหมายของ ΔG และ E

ประเภทของปฏิกิริยา	เครื่องหมายของ ΔG	เครื่องหมายของ E
เกิดได้เอง	-	+
เกิดไม่ได้เอง	+	-
ที่ภาวะสมดุล	0	0

ที่มา : ทบวงมหาวิทยาลัย, 2528.

2.1.3 ศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโตรดเดี่ยวและศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโตรดมาตรฐาน

เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ คือ ผลรวมทางพีชคณิตของศักย์ไฟฟ้าของแต่ละขั้วอิเล็กโตรด ในทางปฏิบัตินั้นไม่มีวิธีวัดศักย์ไฟฟ้าเฉพาะแต่ละขั้วเดี่ยวได้โดยตรง แต่ต้อง

วัดเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ ดังนั้นจึงต้องกำหนดศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดมาตรฐานขึ้น คือ กำหนดให้อิเล็กโทรดไฮโดรเจนเมื่ออยู่ที่สภาวะมาตรฐาน เมื่อต้องการทราบศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดอื่น เช่น $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ เป็นต้น ต้องนำอิเล็กโทรดเหล่านั้นมาจับคู่กับอิเล็กโทรดไฮโดรเจน และวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จะเป็นศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่ต้องการทราบ ทั้งนี้เพราะศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโทรดไฮโดรเจนมีค่าเท่ากับศูนย์นั่นเอง แต่ถ้าอิเล็กโทรดนั้นอยู่ในสภาวะมาตรฐานด้วย แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์จะเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐาน (E^0_{cell}) และเป็นค่าเดียวกับศักย์มาตรฐานของอิเล็กโทรดเดี่ยว (E^0_{cell}) ที่มาจับคู่กับอิเล็กโทรดไฮโดรเจนมาตรฐานโดยการทำให้ได้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโทรดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ศักย์ไฟฟ้าที่แสดงในตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นแนวโน้มของขั้วอิเล็กโทรดที่จะรับอิเล็กตรอนว่า มีความสามารถมากน้อยเพียงใด หรือเรียกว่า เป็นการแสดงความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ (หรือรีดิวซ์) เช่น MnO_4^- กับ Fe^{2+} ในสารละลายกรดพบว่า จากตารางที่ 2.2 ค่า E^0 ของระบบ $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} = +0.77$ โวลต์ และค่า E^0 ของ $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+} = +1.52$ โวลต์ แสดงว่าระบบ $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ มีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอน ได้ดีกว่าระบบ $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ จึงเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่า จากสูตรการหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ที่สภาวะมาตรฐาน คือ

$$E^0_{\text{cell}} = E^0(\text{ขั้วบวก}) - E^0(\text{ขั้วลบ}) \quad (2.8)$$

ถ้าวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ที่สภาวะใด ๆ จะได้ความสัมพันธ์คล้ายกับสมการที่ (2.8) คือ

$$E_{\text{cell}} = E(\text{ขั้วบวก}) - E(\text{ขั้วลบ}) \quad (2.9)$$

2.1.4 กฎของฟาราเดย์

ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ หมายถึง ปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านลงไปสารละลายของเซลล์อิเล็กโทรไลต์ เพื่อให้อิเล็กตรอน 1 โมล ทำปฏิกิริยารีดอกซ์ หรือคือ ผลคูณของประจุไฟฟ้ากับจำนวนอิเล็กตรอน 1 โมล

$$\begin{aligned} 1 \text{ F (Faraday)} &= eN = (1.6022 \times 10^{-19} \text{ C})(6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) \\ &= 96487 \text{ C mol}^{-1} \quad (\text{C} = \text{coulomb}) \end{aligned}$$

$$\text{จะได้} \quad X \text{ coulomb} = I (\text{ampere}) \times t (\text{second})$$

หรือ 1 ฟาราเดย์ คือไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ทำให้เกิดสารแต่ละชนิดที่ขั้วไฟฟ้าจำนวน 1 โมล เท่ากัน เช่น

- ผ่านกระแสไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ลงใน Al^{3+} จะได้ $\text{Al}_{(s)}$ 1 โมล = น.น.กรัมโมล/ประจุ
= 26.98/3 = 9 กรัม
- ผ่านกระแสไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ลงใน Fe^{2+} จะได้ $\text{Fe}_{(s)}$ 1 โมล = น.น.กรัมโมล/ประจุ
= 55.85/2 = 27.9 กรัม

ตารางที่ 2.2 ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโทรดต่าง ๆ

ครึ่งปฏิกิริยา	E°, V
$\text{F}_2(\text{g}) + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons 2\text{HF}(\text{aq})$	3.06
$\text{O}_3(\text{g}) + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}$	2.07
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2e \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}$	2.01
$\text{Co}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}$	1.842
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	1.776
$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e \rightleftharpoons \text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}$	1.695
$\text{Ce}^{4+} + e \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+}$	1.70 (1 F HClO_4)
$\text{HClO} + \text{H}^+ + e \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}$	1.63
$\text{H}_5\text{IO}_6 + \text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1.60
$\text{BrO}_3^- + 6\text{H}^+ + 5e \rightleftharpoons \frac{3}{2}\text{Br}_2(\text{l}) + 3\text{H}_2\text{O}$	1.52
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1.51
$\text{Mn}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}$	1.51 (7.5 F H_2SO_4)
$\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + 5e \rightleftharpoons \frac{3}{2}\text{Cl}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}$	1.47
$\text{PbO}_2(\text{s}) + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.455
$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2e \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	1.359
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1.33
$\text{Ti}^{3+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ti}^+$	1.25
$\text{IO}_3^- + 2\text{Cl}^- + 6\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons \text{ICl}_2^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1.24
$\text{MnO}_2(\text{s}) + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.23
$\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	1.229
$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + 5e \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{I}_2(\text{s}) + 3\text{H}_2\text{O}$	1.195
$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + 5e \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{I}_2(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{O}$	1.178 ^b
$\text{SeO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SeO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	1.15
$\text{Br}_2(\text{l}) + 2e \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	1.065
$\text{Br}_2(\text{aq}) + 2e \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	1.087 ^b
$\text{ICl}_2^- + e \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{I}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}^-$	1.06
$\text{V}(\text{OH})_4^+ + 2\text{H}^+ + e \rightleftharpoons \text{VO}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	1.00
$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + e \rightleftharpoons \text{NO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}$	1.00
$\text{Pd}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Pd}(\text{s})$	0.987
$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0.94
$2\text{Hg}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}$	0.920
$\text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons 3\text{OH}^-$	0.88
$\text{Cu}^{2+} + \text{I}^- + e \rightleftharpoons \text{CuI}(\text{s})$	0.86
$\text{Hg}_2^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Hg}(\text{l})$	0.854
$\text{Ag}^+ + e \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{s})$	0.799
$\text{Hg}_2^{2+} + 2e \rightleftharpoons 2\text{Hg}(\text{l})$	0.789
$\text{Fe}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	0.771
$\text{H}_2\text{SeO}_3 + 4\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons \text{Se}(\text{s}) + 3\text{H}_2\text{O}$	0.740
$\text{PtCl}_4^{2-} + 2e \rightleftharpoons \text{Pt}(\text{s}) + 4\text{Cl}^-$	0.73
$\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2(\text{quinone}) + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$	0.699
$\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$	0.682
$\text{PtCl}_6^{2-} + 2e \rightleftharpoons \text{PtCl}_4^{2-} + 2\text{Cl}^-$	0.68
$\text{Hg}_2\text{SO}_4(\text{s}) + 2e \rightleftharpoons 2\text{Hg}(\text{l}) + \text{SO}_4^{2-}$	0.615
$\text{Sb}_2\text{O}_5(\text{s}) + 6\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons 2\text{SbO}^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	0.581
$\text{MnO}_4^- + e \rightleftharpoons \text{MnO}_4^{2-}$	0.564
$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	0.559

ตารางที่ 2.2 ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโทรดต่าง ๆ (ต่อ)

ครึ่งปฏิกิริยา	E^0, V
$I_3^- + 2e \rightleftharpoons 3I^-$	0.536
$I_2(s) + 2e \rightleftharpoons 2I^-$	0.5355
$I_2(aq) + 2e \rightleftharpoons 2I^-$	0.620 ^b
$Cu^+ + e \rightleftharpoons Cu(s)$	0.521
$H_2SO_3 + 4H^+ + 4e \rightleftharpoons S(s) + 3H_2O$	0.45
$Ag_2CrO_4(s) + 2e \rightleftharpoons 2Ag(s) + CrO_4^{2-}$	0.446
$VO^{2+} + 2H^+ + e \rightleftharpoons V^{3+} + H_2O$	0.361
$Fe(CN)_6^{3-} + e \rightleftharpoons Fe(CN)_6^{4-}$	0.36
$Cu^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cu(s)$	0.337
$UO_2^{2+} + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons U^{4+} + 2H_2O$	0.334
$BiO^+ + 2H^+ + 3e \rightleftharpoons Bi(s) + H_2O$	0.32
$Hg_2Cl_2(s) + 2e \rightleftharpoons 2Hg(l) + 2Cl^-$	0.268
$AgCl(s) + e \rightleftharpoons Ag(s) + Cl^-$	0.222
$SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2SO_3 + H_2O$	0.17
$BiCl_4^- + 3e \rightleftharpoons Bi(s) + 4Cl^-$	0.16
$Sn^{4+} + 2e \rightleftharpoons Sn^{2+}$	0.154
$Cu^{2+} + e \rightleftharpoons Cu^+$	0.153
$S(s) + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2S(g)$	0.141
$TiO^{2+} + 2H^+ + e \rightleftharpoons Ti^{3+} + H_2O$	0.1
$AgBr(s) + e \rightleftharpoons Ag(s) + Br^-$	0.095
$S_4O_6^{2-} + 2e \rightleftharpoons 2S_2O_3^{2-}$	0.08
$Ag(S_2O_3)_2^{3-} + e \rightleftharpoons Ag(s) + 2S_2O_3^{2-}$	0.01
$2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2(g)$	0.000
$Pb^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pb(s)$	-0.126
$Sn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Sn(s)$	-0.136
$AgI(s) + e \rightleftharpoons Ag(s) + I^-$	-0.151
$CuI(s) + e \rightleftharpoons Cu(s) + I^-$	-0.185
$N_2(g) + 5H^+ + 4e \rightleftharpoons N_2H_5^+$	-0.23
$Ni^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ni(s)$	-0.250
$V^{3+} + e \rightleftharpoons V^{2+}$	-0.255
$Co^{2+} + 2e \rightleftharpoons Co(s)$	-0.277
$Ag(CN)_2^- + e \rightleftharpoons Ag(s) + 2CN^-$	-0.31
$Tl^+ + e \rightleftharpoons Tl(s)$	-0.336
$PbSO_4(s) + 2e \rightleftharpoons Pb(s) + SO_4^{2-}$	-0.356
$Ti^{3+} + e \rightleftharpoons Ti^{2+}$	-0.37
$Cd^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cd(s)$	-0.403
$Cr^{3+} + e \rightleftharpoons Cr^{2+}$	-0.41
$Fe^{2+} + 2e \rightleftharpoons Fe(s)$	-0.440
$2CO_2(g) + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2C_2O_4$	-0.49
$Cr^{3+} + 3e \rightleftharpoons Cr(s)$	-0.74
$Zn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Zn(s)$	-0.763
$Mn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Mn(s)$	-1.18
$Al^{3+} + 3e \rightleftharpoons Al(s)$	-1.66
$Mg^{2+} + 2e \rightleftharpoons Mg(s)$	-2.37
$Na^+ + e \rightleftharpoons Na(s)$	-2.714
$Ca^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ca(s)$	-2.87
$Ba^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ba(s)$	-2.90
$K^+ + e \rightleftharpoons K(s)$	-2.925
$Li^+ + e \rightleftharpoons Li(s)$	-3.045

ที่มา : ทบวงมหาวิทยาลัย, 2528.

กฎของฟาราเดย์ สามารถอธิบายความสามารถระหว่างกระแสไฟฟ้าและปริมาณของขั้วโลหะที่ละลายลงสู่สารละลายนำไฟฟ้า ดังสมการต่อไปนี้ (Kim และคณะ, 2002)

$$W = \frac{i \cdot t \cdot M}{Z \cdot F} \quad (2.10)$$

เมื่อ	W	เป็นปริมาณโลหะที่ละลาย ในหน่วย กรัม/ตารางเซนติเมตร
	i	เป็นค่ากระแสไฟฟ้าหลังการทดลอง ในหน่วย แอมแปร์/ตารางเซนติเมตร
	M	เป็นน้ำหนักโมเลกุลของขั้วแอโนด
	t	เป็นเวลาที่ใช้ ในหน่วย วินาที
	Z	เป็นจำนวนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์
	F	เป็นค่าคงที่ของฟาราเดย์เท่ากับ 96,487 (C/eq)

2.1.5 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้ามีผลโดยตรงต่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และมีผลต่อปริมาณประจุที่ปล่อยออกมาในปฏิกิริยาการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ตามกฎของฟาราเดย์ที่ว่า 1 ฟาราเดย์ของประจุที่ผ่านเข้าวงจร จะสะสมนิยมนออกมาจากขั้วไฟฟ้า 96,487 กรัม ซึ่งถ้าจำนวนประจุมากขึ้น ก็จะทำให้มีอะลูมิเนียม หรือเหล็กหลุดออกมาจากขั้วไฟฟ้าเพียงพอที่จะทำให้โลหะไฮดรอกไซด์ ตกตะกอนได้มากขึ้น จากกฎของโอห์ม ซึ่งกล่าวว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลไปในวงจรมีค่าเท่ากับ ผลคูณของกระแสไฟฟ้า และความต้านทานกระแสไฟฟ้า ดังสมการที่ (2.11)

$$V = I \cdot R \quad (2.11)$$

และมีความสัมพันธ์กับงานทางไฟฟ้า ดังสมการที่ (2.12)

$$\text{งานทางไฟฟ้าสุทธิ } (W_{\text{elec}}) = \text{coulomb} \cdot \text{volt} = nE \cdot 96,487 \quad (2.12)$$

ดังนั้น ความต้านทานกระแสไฟฟ้าในกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี คือ ความต้านทานกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ นั่นเอง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ตามสมการที่ (2.13)

$$R = \frac{l}{C \cdot A} \quad (2.13)$$

เมื่อ	R	เป็นความต้านทานกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในหน่วยโอห์ม
	l	เป็นระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดในหน่วยเซนติเมตร
	C	เป็นค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในหน่วยโมห์หรือซีเมน
	A	เป็นพื้นที่หน้าตัดของอิเล็กโทรดที่สัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในหน่วยตารางเซนติเมตร

2.1.6 การแลกเปลี่ยนประจุและการเคลื่อนที่ของประจุ

การเคลื่อนที่ของประจุอิเล็กตรอนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าซึ่งวัดได้ในหน่วยแอมแปร์ จำนวนกระแสที่ผ่านไปหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดจะวัดในรูปความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (current intensity, I) การวัดของกระแสซึ่งผ่านเข้าไปในวัสดุ เรียกว่า การนำไฟฟ้าของวัสดุ (conductivity) ในโลหะส่วนใหญ่จะอยู่ภายใต้กฎของโอห์ม ซึ่งสามารถเขียนในรูปความเข้มของสนามไฟฟ้า (E_f) มีหน่วยเป็น volt/cm ได้คือ

$$E_f = \frac{I}{\sigma} = \frac{V}{R \cdot \sigma} \quad (2.14)$$

เมื่อ	I	เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในหน่วยแอมแปร์
	σ	เป็นค่าการนำไฟฟ้าในหน่วยโมห์/เซนติเมตร
	V	เป็นความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดในหน่วยโวลต์
	R	เป็นความต้านทานระหว่างจุดสองจุดในหน่วยโอห์ม

2.1.7 ปัจจัยที่ต้องควบคุมของเซลล์ไฟฟ้าเคมี (ปริเมษ เจริญนพคุณ, 2545 อ้างถึงใน วรชวรธรณ เพียงวรรณกานต์, 2546)

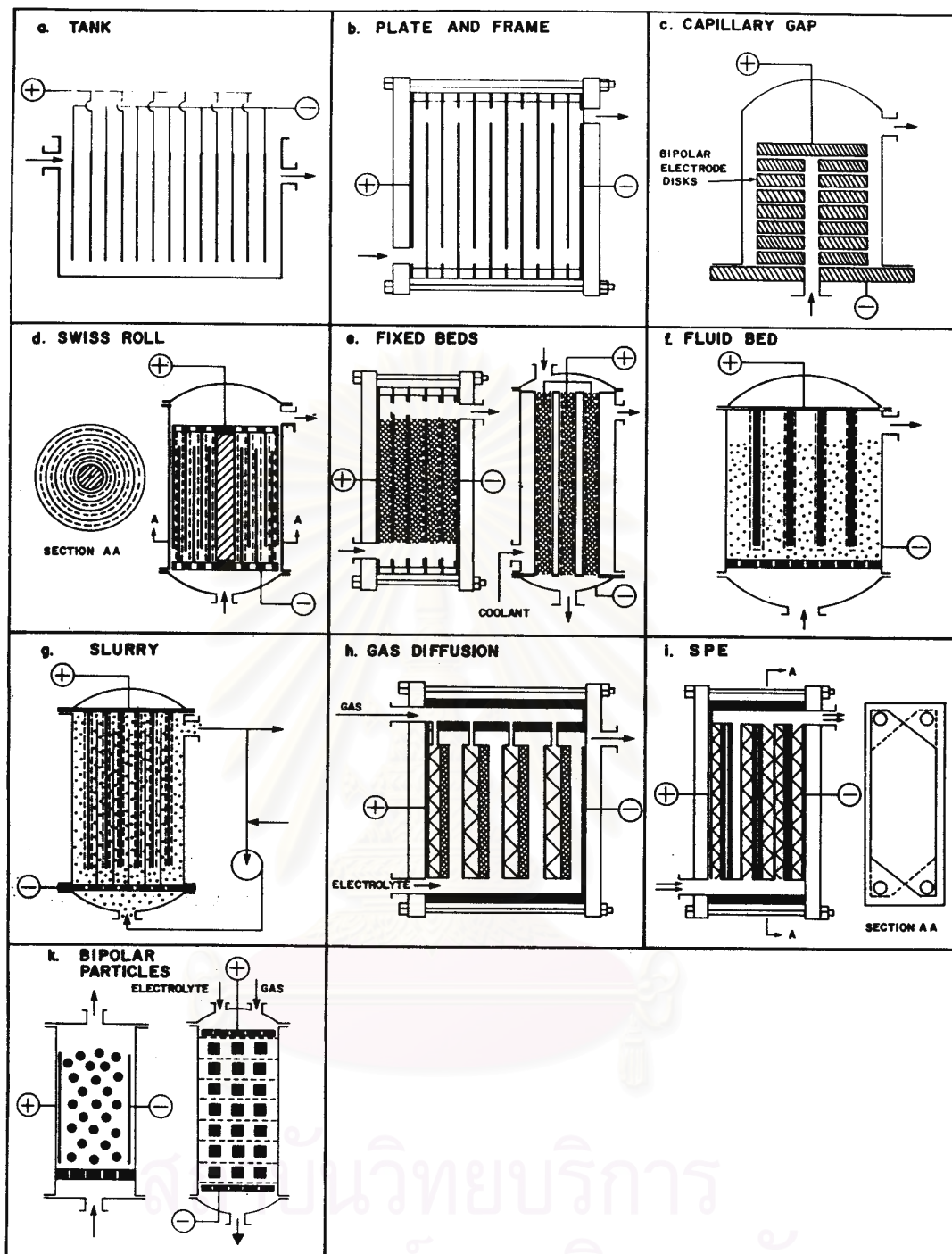
ทิศทางของอิออนและกระแสไฟฟ้าที่ไหลจะขึ้นอยู่กับ การควบคุม ดังนี้

1. ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าจะมีสัดส่วนโดยตรงกับกระแสภายนอกที่ให้แก่ระบบ
2. การเคลื่อนที่ของประจุอิออน ความสามารถของอิออนที่จะนำกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับประจุบนอิออนและขนาดของอิออน
3. อุณหภูมิในการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิของสารละลาย โดยที่ความสามารถในการเคลื่อนที่ที่จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2 ต่อการเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 1 องศาเซลเซียส
4. พื้นที่สัมผัสของขั้วไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดของผิวสัมผัสใหญ่จะดีสำหรับการถ่ายและรับอิเล็กตรอน โดยที่กระแสไฟฟ้าจะมีสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวสัมผัสของขั้วไฟฟ้า
5. ระยะห่างของขั้วไฟฟ้า จำนวนกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับระยะทางที่อิออนเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้า ระยะห่างน้อยกระแสไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น
6. จำนวนประจุของอิออนจะมีมากขึ้น เมื่อมีการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้ามากขึ้น
7. ความเข้มข้นของสารละลายนำไฟฟ้าได้ ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายจะมีสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารนั้น ๆ

2.1.8 หลักการในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ไฟฟ้าเคมี(กัณชมาศ สุทธิเรืองวงศ์, 2539)

เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการไฟฟ้าเคมีมีหลายรูปแบบดังรูปที่ 2.2 ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่จะประยุกต์ใช้ โดยมีหลักการที่สำคัญในการออกแบบ คือ

1. ควรออกแบบเป็นแบบง่ายที่สุด ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด
2. ต้องสามารถเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีได้อย่างสมบูรณ์ ก่อนที่จะผ่านสู่ขั้นตอนอื่นในกรณีที่มีกระบวนการอื่นนอกจากกระบวนการเข้ามาเกี่ยวข้อง ควรทำแยกจากกระบวนการไฟฟ้าเคมี
3. เมื่อจำเป็นต้องมีการกวนผสมหรือการไหลของสารละลาย ต้องพิจารณาการถ่ายเทมวลสารเป็นอันดับแรก เช่น การกวนผสมอาจจะต้องใช้แผ่นกั้นหรือใบพัด
4. ควรออกแบบให้มีการกระจายความต่างศักย์ไฟฟ้าสม่ำเสมอ ทั่วพื้นผิวของอิเล็กโทรด



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการไฟฟ้าเคมีแบบต่าง ๆ

ที่มา : Oloman, 1983

5. ควรออกแบบให้มีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดน้อย เพราะระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดยิ่งมาก จะต้องใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูง ซึ่งจะทำให้ค่าไฟฟ้าสูงขึ้น

6. การเลือกวัสดุที่ใช้ทำเครื่องปฏิกรณ์นั้น ต้องคำนึงถึงสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่จะผ่านกระบวนการเคมีไฟฟ้า และสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไฟฟ้าเคมี สามารถคงทน ไม่สึกกร่อนภายใต้สภาพใช้งาน

7. การเลือกวัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรดนั้น ต้องคำนึงถึงปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้น ให้สอดคล้องกับความต้องการของระบบบำบัดและปฏิกิริยาข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น แกร์ไฟต์ ไม่นิยมใช้ทำอิเล็กโทรด เนื่องจากจะถูกออกซิไดส์ด้วย CO_2 และมีราคาแพง เป็นต้น

8. การวางอิเล็กโทรดในเครื่องปฏิกรณ์นั้นมี 2 แบบ ขึ้นกับความต้องการของวิธีที่ใช้ในการบำบัด ถ้าต้องการกำจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีทำให้ลอยควรวางอิเล็กโทรดในแนวตั้ง เพื่อให้ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เป็นตัวพาสารแขวนลอยดังกล่าวขึ้นมาพร้อมกับตะกอนเบาที่เกิดขึ้น แต่ถ้าต้องการกำจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีตกตะกอนควรวางอิเล็กโทรดในแนวนอนโดยให้ขั้วแอโนดอยู่ล่าง

2.1.9 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกำจัดสีด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (อาานนท์ คุษฎีพรพรรณ, 2538)

เซลล์ไฟฟ้าเคมีเมื่อไฟฟ้ากระแสตรงผ่านขั้วไฟฟ้าซึ่งทำด้วยโลหะ (เหล็ก) จะเกิดปฏิกิริยาหลายอย่าง ดังนี้

2.1.9.1 เกิดกระบวนการ Oxidation

เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) ของน้ำ จะได้ก๊าซออกซิเจนซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง อิออนของโลหะที่ละลายน้ำ (วาเลนซ์ 2 ขึ้นไป) จะตกตะกอนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ (Metal hydroxide) หรือ โลหะออกไซด์ (Metal oxide) สารปนเปื้อนอินทรีย์ (Organic contaminant) จะเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มความพร้อมที่รวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complexs)

2.1.9.2 เกิดกระบวนการ Flotation

โดยก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน ซึ่งเป็นฟองเล็กมากเกิดขึ้นที่อีกขั้วไฟฟ้า จะลอยตัวขึ้นสู่น้ำ เกิดเป็นชั้นของสารแขวนลอย

2.1.9.3 เกิดกระบวนการรวมตัวเป็นสารเชิงซ้อน

ที่ขั้วบวก อีออนของ Fe^{3+} จะทำปฏิกิริยารวมตัวเป็น organo-metallic complex กับสารอินทรีย์พวก aromatic และ alkanes สารเชิงซ้อนเหล่านี้ไม่ละลายในน้ำจะลอยสู่น้ำเสียโดยการลอยตัว (Flotation) ซึ่งเกิดจากการพองโดยฟองก๊าซและมีบางส่วนจมลง (sedimentation)

ตารางที่ 2.3 ประเภทของน้ำเสียที่ใช้บำบัดแบบเคมีไฟฟ้า

ประเภทของน้ำเสีย	จุดประสงค์ในการบำบัด
อุตสาหกรรมโลหะ	กำจัดโลหะปนเปื้อน (Zn, Cu, Fe)
อุตสาหกรรมกระดาษ	กำจัดสี
อุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์	กำจัดสี, การนำน้ำกลับมาใช้อีก
อุตสาหกรรมชุบโลหะ	กำจัดโลหะปนเปื้อน (Cd, Cr, Hg, Mo, etc.) การนำน้ำกลับมาใช้อีก
อุตสาหกรรมแล็กเกอร์และสี	กำจัดสี, ลด COD/BOD
น้ำทิ้งชุมชน	ลด COD/BOD
โรงฆ่าสัตว์	ลด COD/BOD, กำจัดสี
อุตสาหกรรมพิมพ์ย้อม	ลด COD/BOD, กำจัดสี

ที่มา : อานนท์ ดุษฎีพรรณ., 2538

2.1.10 ข้อดี-ข้อเสียของกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Mollah และคณะ, 2001)

ข้อดี

1. ใช้อุปกรณ์ไม่ยุ่งยาก และง่ายต่อการเดินระบบ เพราะควบคุมที่กระแสไฟฟ้าจึงต้องการการดูแลรักษาน้อย
2. ระบบนี้ไม่ใช้สารเคมี ทำให้ไม่มีปัญหาเนื่องจากสารเคมีที่ใช้
3. สลัดจ์ที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงตัวและแยกน้ำออกได้ง่าย เพราะประกอบด้วยโลหะออกไซด์/ไฮดรอกไซด์
4. ฟลอคที่เกิดขึ้นคล้ายกับฟลอคทางเคมี แต่มีขนาดใหญ่กว่า สามารถแยกโดยการกรองได้เร็วกว่า

5. ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นขณะทำปฏิกิริยาจะพาของเสียลอยสู่ด้านบนทำให้ง่ายต่อการรวบรวมและเก็บออก

ข้อเสีย

1. ชั่วที่เกิดการละลายทำให้ต้องเปลี่ยนบ่อย ๆ
2. ในหลาย ๆ พื้นที่การใช้ไฟฟ้าอาจมีค่าใช้จ่ายสูง
3. การเกิดฟิล์มออกไซด์ที่ขั้วบวกทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพ
4. ต้องการน้ำเสียที่มีค่าความนำไฟฟ้าในค่อนข้างสูง

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย

2.2.1 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542)

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยระบบต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1.1 ระบบบำบัดก่อนขั้นต้น (Preliminary Treatment)

เป็นระบบบำบัดที่อยู่ในขั้นแรก ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง การกำจัดตะกอนหนัก การทำให้ลอย การบดตัด เป็นต้น

2.2.1.2 ระบบบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment)

เป็นระบบที่อยู่ในขั้นที่ต้องการแยกสารแขวนลอย ออกจากน้ำเสีย และกำจัดสารอินทรีย์บางส่วนออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง การตกตะกอน เป็นต้น

2.2.1.3 ระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment)

เป็นระบบที่กำจัดสารอินทรีย์ และสารแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพ สำหรับระบบฆ่าเชื้อโรคในน้ำทิ้ง เช่น การเติมคลอรีนก็จัดอยู่ในระบบบำบัดขั้นที่สองด้วย

2.2.1.4 ระบบบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary Treatment)

เป็นระบบที่แยก และกำจัดสารแขวนลอยที่หลงเหลือจากระบบบำบัดขั้นที่สอง เช่น การกำจัดสารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสีออกจากน้ำเสีย และการกำจัดสาร

ปนเปื้อนอื่น ๆ ที่หลงเหลือจากระบบบำบัดขั้นที่สอง ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะทำการบำบัดน้ำเสียเพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่ต้องการนำกลับมาใช้อีก เช่น นำมาใช้รดน้ำสนามหญ้า ใช้กับการซักโครกของโถส้วม ใช้กับระบบหล่อเย็น แม้กระทั่งนำไปใช้ผลิตน้ำประปา

2.2.2 สี

สีของน้ำแบ่งได้เป็น 2 ชนิด (มันสิน ตันฑุลเวศน์., 2538) คือ

1) สีแท้หรือสีจริง หมายถึง สีที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ สีแท้เกิดจากสารอินทรีย์ ซึ่งย่อยสลายยากประเภทกรดฮิวมิกและฟัลวิก (Humic acid and Fulvic acid) ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการย่อยสลายพืชต่าง ๆ กรดอินทรีย์เหล่านี้เป็นสารที่มีความคงตัวสูงมาก จนไม่สลายตัวอีกต่อไปแล้ว การกำจัดสีแท้ออกจากน้ำจึงไม่สามารถทำได้โดยง่าย

2) สีปรากฏ หมายถึง สีของน้ำที่สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีทางกายภาพ เช่น การตกตะกอน หรือกรอง เป็นต้น การกำจัดสีปรากฏออกไปจะทำให้เห็นสีแท้ของน้ำ (ถ้ามี)

2.2.3 กระบวนการที่ใช้กำจัดสี

กระบวนการต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อกำจัดสี (จิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ, 2542)

2.2.2.1 โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)

เป็นกระบวนการกำจัดสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางโดยมักจะใช้ร่วมกับ การปรับค่าความเป็นกรด ด่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นก่อนการบำบัดทางชีววิทยาสารตกตะกอนที่นิยมใช้คือ ปูนขาว สารส้ม เพอร์รัสคลอไรด์ หรือ เพอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการตกตะกอนเป็นผลจากการทำให้โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนอนุภาคของสารตกตะกอนทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้ง ในบางกรณีอาจต้องใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอนเช่น โพลีอิเล็กโทรไลต์ ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการตกตะกอนให้ เป็นไปอย่างสมบูรณ์

2.2.2.2 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological Treatment)

กระบวนการนี้ลดสีโดยอาศัยจุลินทรีย์ในการทำลาย กิน ดูดซับ หรือเปลี่ยนแปลงของมวลสารต่างๆ รวมทั้งสีที่มีอยู่ในน้ำเสีย ให้มีค่าความสกปรกลดลงแบ่งออกเป็น

2 ระบบคือ ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) และ ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ซึ่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีของกระบวนการแสดงได้ดังนี้

มวลสารอินทรีย์ + จุลินทรีย์ → จุลินทรีย์ตัวใหม่ + คาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ + พลังงาน

2.2.2.3 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

การดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของสีดูดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของเสียที่จะถูกดูดซับ ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรมสีจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 400 และสูงกว่า 1200 ดังนั้น ก่อนการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ จะต้องมีการปรับขนาดของโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสมก่อนโดยการไฮโดรไลซิสด้วยปูนขาว

2.2.3.4 การออกซิไดส์ด้วยโอโซน (Ozone Treatment)

เป็นการทำลายโมเลกุลของสี โดยการออกซิไดส์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ด้วยโอโซน เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงมาก จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำทิ้งอย่างรวดเร็ว

2.2.3.5 กระบวนการเมมเบรน (Membrane Processes)

เป็นกระบวนการต่าง ๆ ที่อาศัยเยื่อเมมเบรน (Semi-permeable membrane) ในการแยกสารละลายออกจากน้ำ หรือของเหลว กระบวนการที่สำคัญมี 3 แบบ คือ Electrodialysis (ED) จะใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการแยกสารประกอบซึ่งแตกตัวเป็นไอออนได้ แต่ไม่สามารถแยกสารอินทรีย์, Reverse Osmosis (RO) สามารถแยกสารอินทรีย์ขนาดใหญ่และสารอนินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เกือบทุกชนิดออกมาได้ และ Ultrafiltration ซึ่งสามารถแยกสารอินทรีย์ขนาดใหญ่เท่านั้น

2.3 อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม

การสกัดน้ำมันปาล์ม เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญทางเศรษฐกิจอย่างหนึ่งของประเทศ โดยพื้นที่ปลูกต้นปาล์มส่วนใหญ่จะอยู่ทางภาคใต้ของไทย เช่น กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร ตรัง สงขลา และ สตูล เป็นต้น จากการที่น้ำมันปาล์มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมด้านอาหารเช่น น้ำมันทอด ครีมเทียม มายองเนส ฯลฯ อุตสาหกรรมโพลิเอสเตอร์ โดยต้องผ่านกระบวนการทางเคมี เช่น กรดสเตียริก ใช้ในการผลิตเครื่องสำอาง สบู่เด็ก ผสมกับกรดปาล์มมิติกเพื่อทำเทียนไข แม้กระทั่งในด้านพลังงาน คือ ไบโอดีเซล จึงทำให้อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว

2.3.1 ประเภทของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (จุฑารัตน์ หนูสุข, 2546)

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบ่งออกตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.3.1.1 โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตแบบหีบเปียกหรือสกัดแยก

เป็นโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ไอน้ำและความร้อน และจะมีการสกัดน้ำมันปาล์มแยกกันระหว่างน้ำมันจากเนื้อเยื่อผลปาล์มกับน้ำมันจากเมล็ดใน โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มประเภทนี้จะมีขนาดใหญ่ และมีกำลังการผลิตสูง จากการที่ในกระบวนการผลิตมีการใช้น้ำจึงทำให้โรงงานประเภทนี้มีน้ำเสียเกิดขึ้นในปริมาณมาก ซึ่งจะต้องอาศัยการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ดี นอกจากนี้ยังมีของเหลือจากกระบวนการผลิตในรูปของเส้นใย กะลา ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำได้ ส่วนทะลายเปล่าสามารถนำมาใช้เพาะเห็ด และกากตะกอนน้ำมันปาล์มสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

2.3.1.2 โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตแบบหีบแห้งหรือสกัดรวม

เป็นโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้น้ำในปริมาณน้อย และในการสกัดน้ำมันปาล์ม จะสกัดน้ำมันจากผลปาล์มและน้ำมันจากเมล็ดใน ซึ่งน้ำมันที่ได้จะมีราคาต่ำกว่าน้ำมันบริสุทธิ์ที่ผลิตจากเนื้อเยื่อผลปาล์มเพียงอย่างเดียว โรงงานประเภทนี้ส่วนใหญ่มีขนาดเล็ก และใช้เงินลงทุนต่ำ ในส่วนของของเหลือจากกระบวนการผลิตจะอยู่ในรูปของกากปาล์ม ซึ่งสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

2.3.2 กระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตมาตรฐานแบบหีบเปียก

กระบวนการผลิตแบบหีบเปียกนั้นจะใช้ไอน้ำในการอบนิ่งผลปาล์มให้เปื่อยนิ่ม จากนั้นแยกทะลายออก และหีบสกัดน้ำมันปาล์มออกมา น้ำมันที่ได้จะแยกเอาสิ่งเจือปนออกและทำให้สะอาดยิ่งขึ้นจนได้เป็นน้ำมันปาล์มดิบเพื่อรอจำหน่ายต่อไป ดังแสดงผังกระบวนการผลิตในรูปที่ 2.3 และตัวอย่างผังกระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแห่งหนึ่ง แสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งกระบวนการผลิตจะแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

2.3.2.1 การนำส่งทะลายปาล์มสด

ผลปาล์มที่ทางโรงงานรับซื้อส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปทะลายปาล์มสด ซึ่งจะต้องมีการชั่งน้ำหนักและตรวจวัดคุณภาพปาล์มสด จากนั้นก็จะจัดเก็บบนลานเพื่อรอสกัดน้ำมันและควรนำผลปาล์มสดเข้ากระบวนการสกัดน้ำมันดิบให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากเอนไซม์ในผลปาล์มสดจะเปลี่ยนน้ำมันปาล์มให้เป็นกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid : FFA) ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพและราคาของน้ำมันปาล์มดิบที่จะขายต่อไป

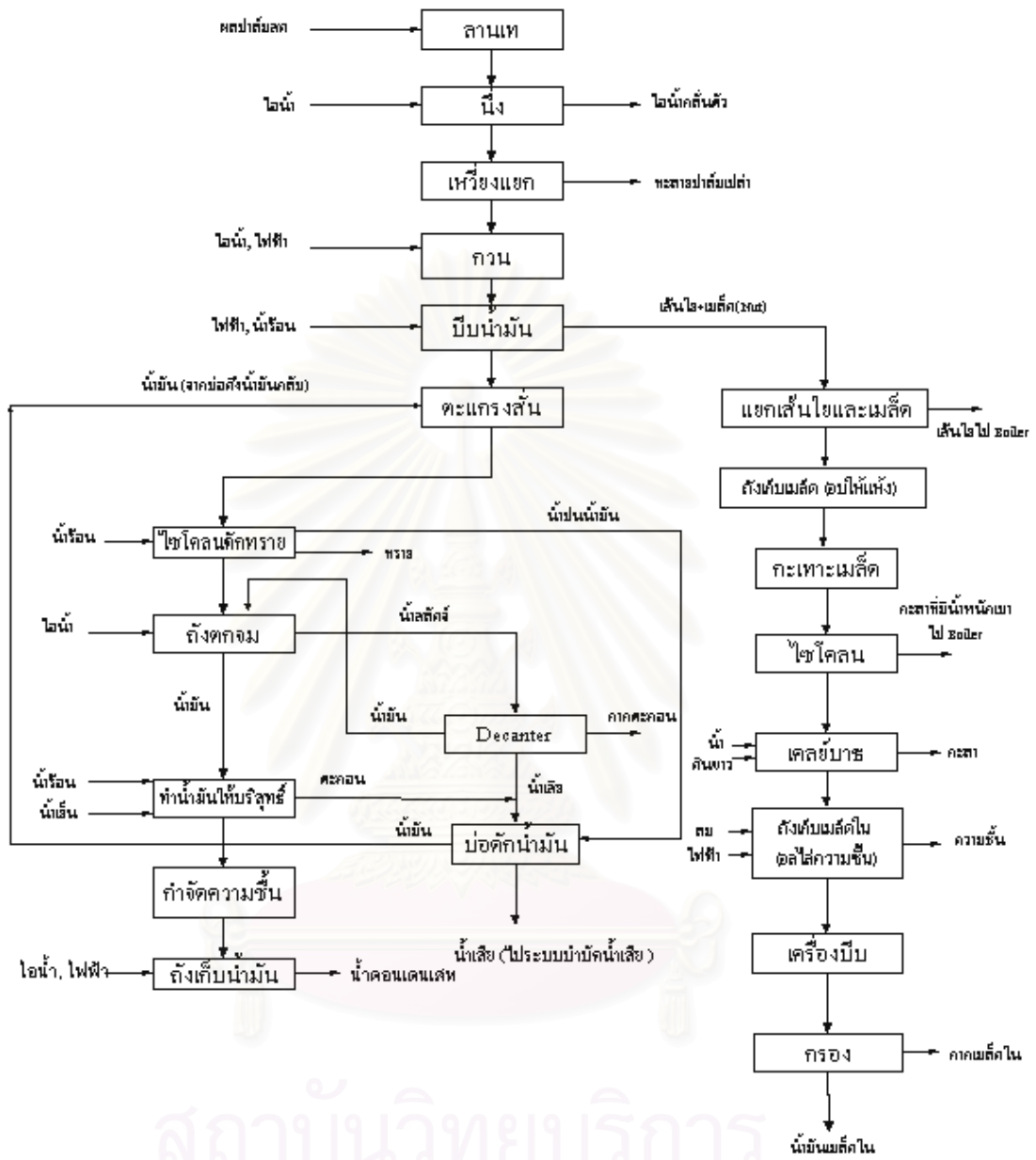
2.3.2.2 การนึ่งผลปาล์มสดในหม้อนึ่ง (Sterilizer)

ผลปาล์มสดที่ผ่านการชั่งน้ำหนักและส่งขึ้นลานเทปาล์ม จะถูกบรรจุลงในกระบะบรรจุปาล์มและเคลื่อนผ่านรางเข้าสู่หม้ออบนึ่งไอน้ำที่ความดัน 3 บาร์ ใช้เวลาประมาณ 70-90 นาที โดยในขั้นตอนนี้จะทำให้ผลปาล์มนุ่ม ง่ายต่อการหีบ และเป็นการยับยั้งปฏิกิริยาไลโปไลซิสที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม

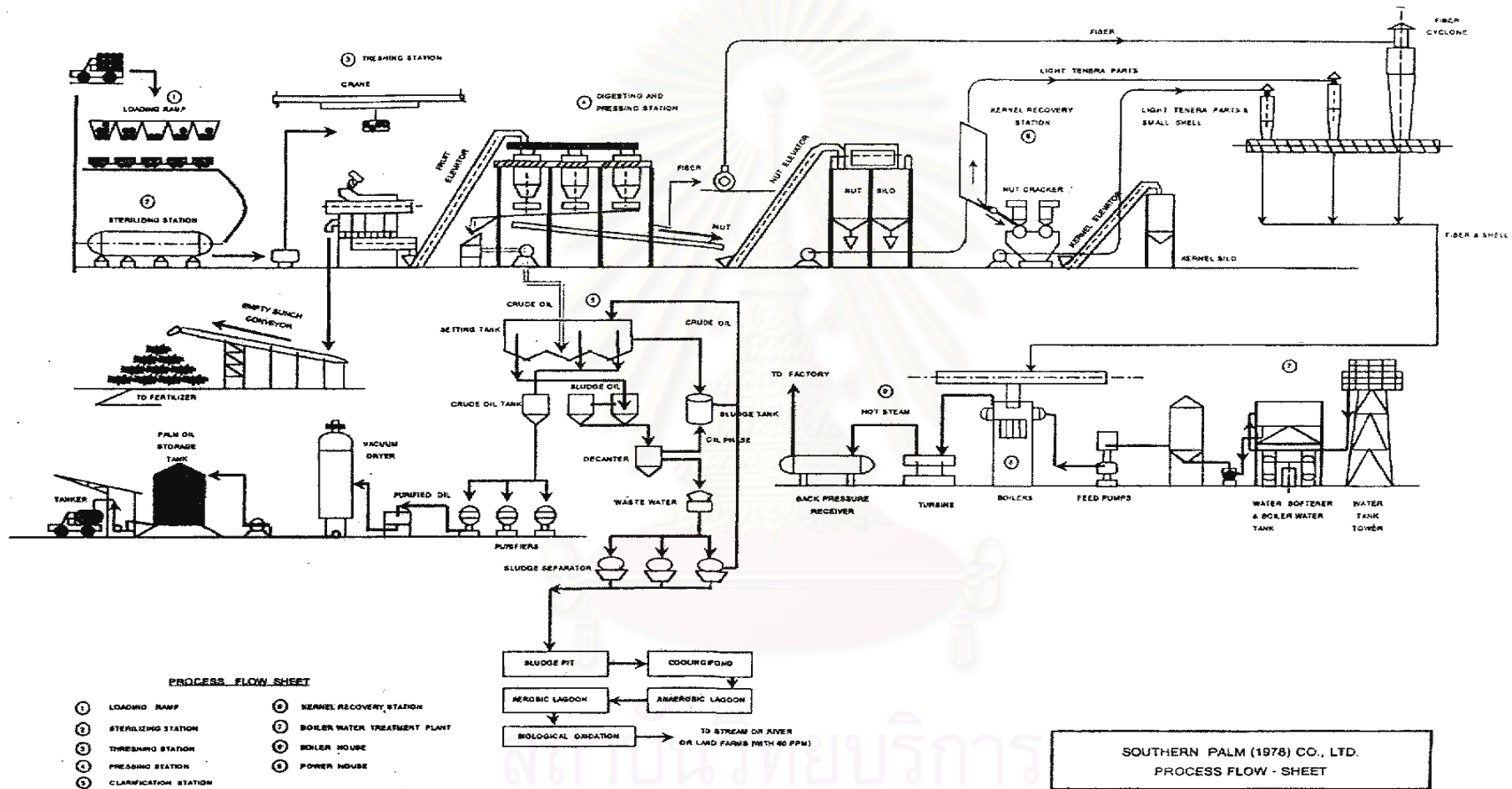
2.3.2.3 การแยกผลปาล์มสดโดยเครื่องแยกผลปาล์ม (Stripper)

ในขั้นตอนการแยกผลปาล์มสดออกจากทะลายปาล์ม จะเป็นผลต่อเนื่องมาจากการนึ่งผลปาล์ม ถ้านึ่งไม่สุกพอการแยกผลปาล์มสดจากทะลายจะทำได้ยาก เพราะผลปาล์มจะติดออกไปกับทะลายมากซึ่งเป็นการสูญเสียของโรงงาน ดังนั้น การควบคุมการนึ่งให้เหมาะสมจึงสำคัญต่อการแยกผลปาล์ม

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 2.3 ผังกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม
ที่มา : สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างผังกระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบหีบเปียก

ที่มา : บริษัททักษิณปาล์ม (2521) จำกัด

2.3.2.4 การย่อยผลปาล์มในถังกวน (Digester)

ผลปาล์มในถังกวนจะต้องมีการควบคุมอัตราการกวน และการให้ความร้อนให้เหมาะสมเพื่อตีผลปาล์มให้ยุ่ยก่อนเข้าเครื่องบีบ

2.3.2.5 การสกัดน้ำมันปาล์มโดยเครื่องบีบน้ำมัน (Screw Press)

ผลปาล์มที่ผ่านการกวนจนนิ่มหรือละเอียดแล้วจะถูกป้อนเข้าเครื่องบีบน้ำมัน เพื่อแยกน้ำมันออกจากส่วนที่เป็นเมล็ดในที่ยังไม่ได้กะเทาะเปลือก สำหรับน้ำมันปาล์มในส่วนเส้นใยจะถูกส่งผ่านตะแกรงกรองน้ำมันเพื่อสกัดเส้นใยและสิ่งเจือปนออก ก่อนที่จะนำไปผ่านกรรมวิธีการกรองแยก ส่วนเส้นใยจะถูกส่งไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ เมล็ดในที่ยังไม่ได้กะเทาะเปลือกจะผ่านกรรมวิธีการอบกะเทาะและแยกเมล็ดใน

2.3.2.6 การแยกน้ำมันโดยถังตกจม (Settling Tank)

น้ำมันปาล์มที่ผ่านตะแกรงกรองน้ำมันจะถูกส่งขึ้นถังตกจม และเพิ่มอุณหภูมิหรือทำน้ำมันให้ร้อนโดยการเพิ่มน้ำร้อนให้น้ำมันลอยตัว แล้วใช้กรวยดักเก็บน้ำมันเพื่อลดปริมาณความชื้นและสิ่งเจือปนเหลือเพียงประมาณ 0.5% หลังจากนั้นน้ำมันปาล์มก็จะถูกส่งผ่านอุปกรณ์วัดความชื้นโดยใช้สัญญาณความชื้นและสิ่งเจือปนให้ลดลงเหลือประมาณ 0.1% ซึ่งน้ำมันปาล์มที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้วเป็นน้ำมันดิบที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน และจะถูกส่งเข้าถังเก็บเพื่อรอส่งจำหน่ายต่อไป สำหรับน้ำมันปาล์มที่ปนมากับน้ำร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะถูกส่งเข้าอุปกรณ์แยกน้ำ Sludge Separator หรือ Sludge Centrifuge เพื่อนำน้ำมันส่วนนี้กลับเข้าสู่กรรมวิธีการกรองแยกอีกครั้งหนึ่ง

กรณีใช้เครื่องแยก 3 เฟส (Decanter) จะได้น้ำมันปาล์มดิบ น้ำทิ้งและกากตะกอนแยกจากกัน กรณีใช้เครื่องแยก 2 เฟส (Separator) จะได้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำทิ้งที่มีกากตะกอนปนอยู่ ในการเดินเครื่องจะต้องมีการเติมน้ำผสมเพื่อให้สามารถแยกน้ำมันปาล์มออกได้ง่ายขึ้น

2.3.2.7 การอบ กะเทาะ และแยกเมล็ดใน

เมล็ดในปาล์มที่ยังไม่ได้กะเทาะเปลือกจะถูกส่งเข้าไซโลอบเมล็ดใน เพื่ออบให้เปลือกและกะลาแห้งและกรอบ สะดวกต่อการกะเทาะเมล็ดใน จากนั้นจึงแยกเมล็ดในและกะลาออกจากกันโดยผ่านเครื่องแยกกะลาออกจากเมล็ดใน ทั้งนี้กะลาปาล์มจะถูกส่งไปเป็นเชื้อเพลิงเสริมสำหรับหม้อไอน้ำ ส่วนเมล็ดในที่กะเทาะเปลือกแล้วจะถูกส่งขึ้นถังอบให้แห้งก่อนจะบรรจุกระสอบส่งจำหน่ายต่อไป

2.3.2.8 การบีบน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ

เมล็ดในที่ผ่านการกะเทาะเปลือกและอบแห้งแล้ว จะถูกนำไปตีให้แตกด้วยเครื่องตีเมล็ดในแล้วบดด้วยเครื่องบดเมล็ดใน ก่อนจะนำเข้าสู่เครื่องบีบน้ำมัน โดยกากของเมล็ดในที่ได้จะถูกนำไปบรรจุกระสอบส่งขายเป็นอาหารสัตว์ ส่วนน้ำมันที่ได้จะถูกนำไปกรองเพื่อทำความสะอาดด้วยเครื่องกรองน้ำมันเมล็ดใน ก่อนจะนำน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบที่ได้บรรจุถังเพื่อรอจำหน่าย

2.3.3 น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเกือบทั้งหมด เกิดจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมาจาก 5 แหล่งใหญ่ คือ

2.3.3.1 น้ำจากการนึ่งปาล์ม

เป็นน้ำทิ้งจากการอบทะลายปาล์มด้วยไอน้ำ น้ำส่วนนี้แม้จะมีน้ำมันอยู่ แต่มีสารแขวนลอยต่ำและไม่มีสภาพเป็นอิมัลชัน โดยทั่วไปการอบทะลายปาล์ม 25 ตันจะมีน้ำนึ่งปาล์มเกิดขึ้นประมาณ 2 – 3 ลบ.ม.

2.3.3.2 น้ำทิ้งจากการแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน

น้ำทิ้งส่วนนี้เกิดขึ้นมากที่สุด และเป็นน้ำทิ้งที่มีของแข็งแขวนลอยมาก กรณีที่ใช้ decanter ในการแยกน้ำทิ้งจากการแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมันจะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกมาประมาณ 0.35 ลบ.ม./1 ตันทะลายปาล์มสด และในกรณีที่ใช้ separator จะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกมาประมาณ 0.65 ลบ.ม./1 ตันทะลายปาล์มสด

2.3.3.3 น้ำทิ้งจากการล้างทำความสะอาดเครื่องมือ

เครื่องมือที่ต้องทำความสะอาดบ่อยครั้ง ได้แก่

1) เครื่องแยกกรวดทราย ต้องทำการล้างทุกครึ่งชั่วโมง ใช้น้ำในการล้างประมาณ 0.05 – 0.1ลบ.ม.

2) เครื่องแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน เมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง ต้องมีการล้างทำความสะอาด ซึ่งจะมีน้ำทิ้งเกิด ครึ่งละ 0.2 – 0.5 ลบ.ม.

3) เครื่องแยกเหรียญความเร็วสูง ต้องทำการล้างทุก 20 – 30 นาที ในการ

ล้างจะใช้น้ำครั้งละ 0.05 – 0.06 ลบ.ม. นอกจากนี้ยังต้องล้างทำความสะอาดพื้น ถังพัก และ ภาชนะต่าง ๆ อีกด้วย

2.3.3.4 น้ำจากการหล่อเย็นหม้อกำเนิดไอน้ำและเครื่องระเหย

เป็นน้ำที่มีของแข็งแขวนลอยต่ำมากและยังสะอาดอยู่ ส่วนใหญ่จะมีการ หมุนเวียน กลับมาใช้ใหม่

2.3.3.5 น้ำสลัดจ์จากเครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูง (centrifuge)

มีน้ำทิ้งเกิดขึ้นประมาณ 0.03 – 0.15 ลบ.ม./1 ตันทะเลลายปาล์มสด

2.3.4 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

2.3.4.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น

น้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีแหล่งกำเนิดจากหลายแหล่ง ได้แก่ หม้อน้ำฆ่าเชื้อ ห้องน้ำมัน น้ำหล่อเย็นจากเครื่องระเหยน้ำออกจากน้ำมัน เครื่องลดความร้อนของ น้ำมัน ซึ่งน้ำมันแต่ละแหล่งจะมีปริมาณมลสารหรือความสกปรกแตกต่างกัน จากนั้นจะทำการ แยกน้ำเสียที่มีความสกปรกมากและน้อยออกจากกัน โดยน้ำเสียที่มีความสกปรกน้อยจะมีการ หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ตามความเหมาะสม ส่วนน้ำเสียที่มีปริมาณมลสารสูงก็จะส่งเข้าระบบ บำบัดของทางโรงงานต่อไป

น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จะมีอุณหภูมิสูงและมีน้ำมันปนอยู่ ด้วย ในการบำบัดจะทำโดยใช้บ่อดักไขมันซึ่งกักน้ำเสียเอาไว้ทำให้อุณหภูมิลดลง และทำให้ไขมัน ลอยตัวขึ้นสู่ผิวบนของบ่อ จากนั้นจะมีการกวาดชั้นไขมันออกเป็นระยะ ๆ โดยไขมันส่วนนี้จะนำไป จำหน่ายเพื่อทำสบู่และเทียนไข ในส่วนของของแข็งแขวนลอยก็จะตกตะกอนบริเวณก้นบ่อในช่วง บ่อต้น ๆ ของระบบบำบัดซึ่งจะมีการขูดลอกก้นบ่อเพื่อนำไปทำปุ๋ย

2.3.4.2 การบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ

น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะบำบัดด้วยกระบวนการย่อยสลาย ทางชีวภาพ เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์และไม่มีสารที่เป็นอันตรายต่อการย่อยสลายทาง ชีวภาพ ซึ่งจะเป็นระบบบ่อดักตัว (stabilization pond) หรือ oxidation pond ประกอบด้วย บ่อดิน หรือบ่อกักเก็บน้ำทิ้งจำนวนหลาย ๆ บ่อ เรียงต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งจะใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก แต่มี การออกแบบไม่ซับซ้อน สามารถจำแนกตามระดับออกซิเจนที่มีในบ่อ ดังนี้ (กรมโรงงาน อุตสาหกรรม, 2545)

1) บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond)

บ่อแอโรบิก เป็นบ่อที่มีแบคทีเรียและสาหร่ายแขวนลอยอยู่มีออกซิเจนทั่วทั้งบ่อและมีสภาพเป็นแอโรบิกตลอดความลึก บ่อแอโรบิกได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและการเติมอากาศที่ผิวหน้า บ่อแอโรบิกนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามวัตถุประสงค์การทำงาน คือ

1.1) บ่อแอโรบิกแบบผลิตออกซิเจนให้มากที่สุด บ่อแบบนี้มีความลึกได้ถึงประมาณ 1 - 1.5 เมตร อาจมีการกวนเป็นระยะๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด โดยใช้เครื่องสูบน้ำหรือเครื่องเติมอากาศแบบผิวหน้า

1.2) บ่อแอโรบิกแบบผลิตสาหร่ายให้ได้มากที่สุด หรือบ่อที่มีอัตราการทำงานสูง (High Rate Ponds) ใช้สาหร่ายเปลี่ยนน้ำทิ้งให้เป็นสาหร่ายให้มากที่สุด บ่อแบบนี้มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ต่อปริมาตรสูง ความลึกประมาณ 0.2 - 0.6 เมตร สิ่งที่อยู่ในบ่อต้องได้รับการกวนหนึ่งหรือสองครั้งต่อวัน เพื่อให้ตะกอนที่ตกอยู่ลอยขึ้นมาและจำเป็นต้องมีการแยกสาหร่ายออกจากน้ำทิ้งขั้นสุดท้าย

2) บ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative Pond)

บ่อแฟคัลเททีฟ หรือบ่อแอโรบิก-แอนแอโรบิก หรือบ่อกึ่งแอโรบิก เนื่องจากส่วนบนของบ่อจะอยู่ในสภาพแอโรบิกจากการเติมอากาศที่ผิวหน้า และจากปฏิกิริยาของสาหร่ายซึ่งให้ออกซิเจน ส่วนล่างของบ่อจะอยู่ในสภาพแอนแอโรบิก โดยสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนแล้วจะถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก บ่อแฟคัลเททีฟมีความลึกประมาณ 1 - 2 เมตร น้ำทิ้งจะถูกกักเป็นเวลาหลายวันเพื่อให้คงตัวและไม่เป็นที่น่ารังเกียจเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

3) บ่อหมิ่นหรือบ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond)

บ่อหมิ่นใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงและมีปริมาณของแข็งสูง บ่อนี้จะถูกออกแบบให้มีภาวะบรรทุกระบบสารอินทรีย์สูงมาก จนสาหร่ายและการเติมออกซิเจนที่ผิวหน้าไม่สามารถเติมออกซิเจนได้ทัน สภาพภายในบ่อจึงไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่ สารอินทรีย์และของแข็งในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิกภายในบ่อ น้ำใสที่ออกจากบ่อจะถูกปล่อยเข้าสู่บ่อแฟคัลเททีฟเพื่อบำบัดต่อไป

4) บ่อป่ม (Maturation Ponds)

มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดเชื้อโรค ก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยสภาพภายในบ่อจะเป็นแอโรบิกทั้งหมด ปกติความลึกของบ่อเท่ากับบ่อแฟคัลเททีฟที่ผ่านมาแล้ว

2.3.5 น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการศึกษา

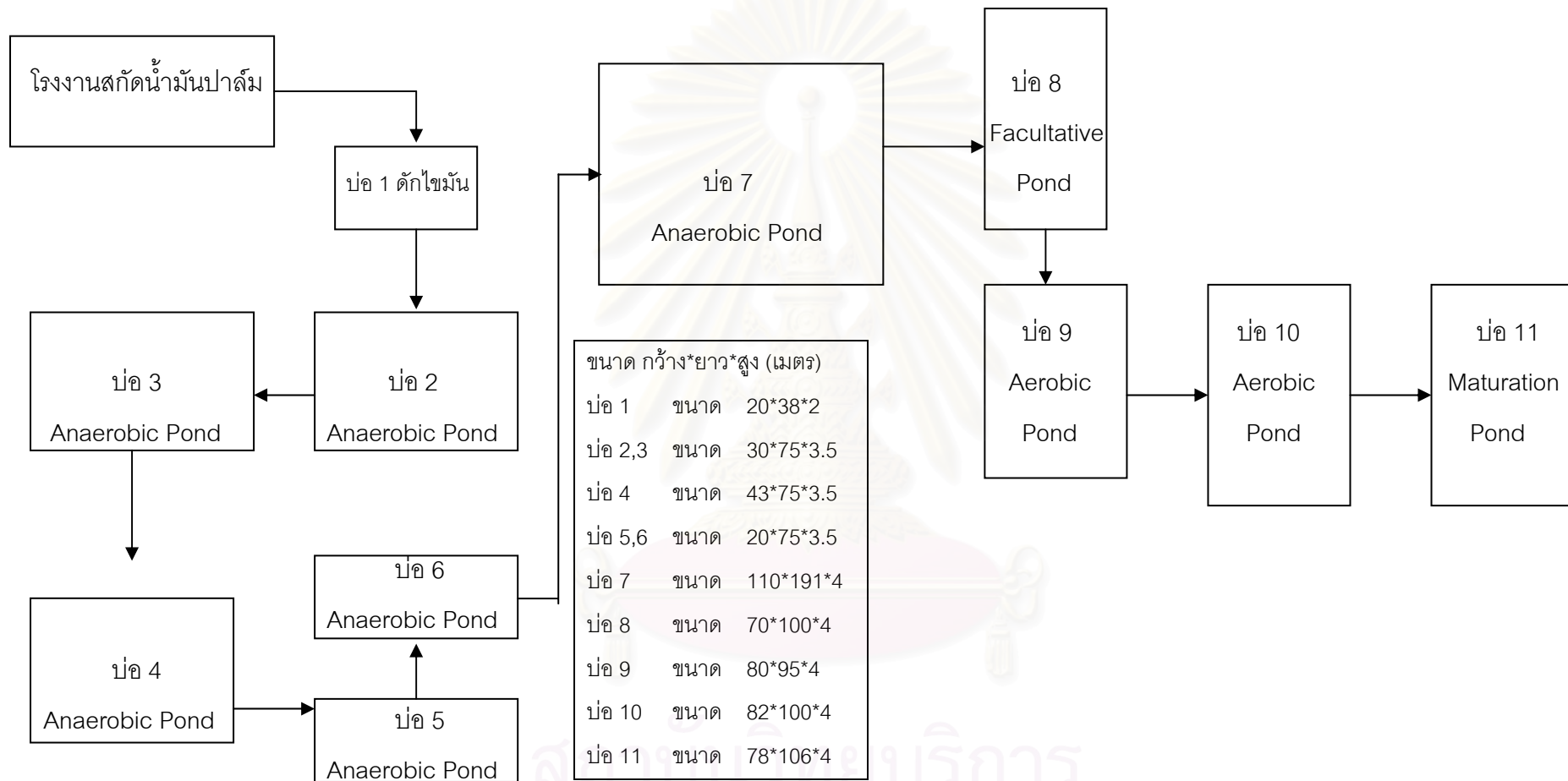
สีน้ำตาลในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ประกอบด้วยสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น รงควัตถุพวกแอนโทไซยานิน และแคโรทีน ซึ่งถูกสกัดออกมาพร้อมกับน้ำมันและไอน้ำเนื่องจาก เซลล์ผลปาล์มถูกทำลาย สารประกอบพวกโพลีฟีนอล เพคติน แทนนิน และโพลีแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังพบสารพวกเมลานอยดิน (Melanoidin) ซึ่งเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอนไซม์ ระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง สารประกอบพวกกัม (Gum) เมื่อถูกความร้อนในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มจะทำให้เกิดสีน้ำตาลคล้ำ สามารถรวมตัวกับเกลือของ โลหะ เช่น เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม และทองแดง เกิดความคงตัวของสีในน้ำทิ้ง (พูนสุข ประเสริฐสุวรรณ, อรัญ หันพงศ์กิตติกุล และโสภา จันทภาโส, 2544ข)

น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) โดยน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตซึ่งเป็นน้ำที่มีอุณหภูมิสูงและยังมี น้ำมันหลงเหลืออยู่ นั้นจะถูกส่งไปยังบ่อดักไขมัน และส่งต่อไปยังบ่อเก็บกักน้ำเสียที่ต่อแบบอนุกรม จำนวนหลาย ๆ บ่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว ได้แก่ น้ำเสียจากบ่อสุดท้าย จะยังมีปริมาณมลสารสูงอยู่ ดังข้อมูลคุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตก่อนเข้าระบบบำบัด และน้ำจากบ่อสุดท้ายของระบบบำบัดในตารางที่ 2.4 ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2.4 ลักษณะสมบัติน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดและออกจากระบบบำบัดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ศึกษา (พ.ศ. 2545)

พารามิเตอร์	ก่อนเข้าระบบ		ออกจากระบบ	
	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย
pH	4.11 - 5.11	4.59	8.48 - 9.42	9.16
TSS(มก./ลิตร)	10,000 - 97,600	35,567	150 - 1,900	1,804
BOD(มก./ลิตร)	44,000 - 89,500	61,588	60 - 237.5	149
Oil&Grease (มก./ลิตร)	3,742 - 75,000	15,762	32 - 230	108

ที่มา : จุฑารัตน์ หนูสุข, 2546



รูปที่ 2.5 ผังระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ศึกษา

ที่มา : จุฑารัตน์ หนูสุข, 2546

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

จุฑารัตน์ หนูสุข (2546) ได้ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สามจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยปลูกต้นธูปฤาษี จำนวน 3 บ่อ บ่อน้ำเสียสุดท้ายที่ผ่านระบบบ่อหมักและปรับสภาพแล้ว เปลี่ยนอัตราการไหลเข้า 0.26, 0.13 และ 0.086 ลบ.ม./วัน และระยะเวลาเก็บกัก 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ พบว่า ที่อัตราการไหล 0.086 และระยะเวลาเก็บกัก 15 วัน มีประสิทธิภาพกำจัดดีที่ที่สุด คือ 61.65% การกำจัดของแข็งแขวนลอย, บีโอดี, ซีโอดี, ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัส 90.49, 74.11, 59.06, 54.4 และ 39.48 ตามลำดับ และพบว่าเมื่ออัตราการไหลที่เข้าระบบมีค่าน้อยลง หรือมีเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดดี, ของแข็งแขวนลอย, บีโอดี, ซีโอดี, ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสได้สูงขึ้น

Ahmad, Ismail และBhatia (2003) มีการนำน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผ่านกระบวนการ coagulation, sedimentation, adsorption จากนั้นต่อกับ ultrafiltration และ reverse osmosis พบว่า ลดความขุ่น, ซีโอดี และบีโอดีได้ 100%, 98.8% และ 99.4% ตามลำดับ มีค่าพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 7 สามารถนำกลับไปใช้สำหรับ boiler ได้

พูนสุข ประเสริฐสรรพ, อรัญ หันพงศ์กิตติกุล, และโสภา จันทภาโส (2544ข) ได้ศึกษาการกำจัดดีของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดด้วยเอนไซม์จาก *Aspergillus niger* ATCC 6275 โดยนำสารละลายส่วนใสที่แยกสารแขวนลอยออกแล้ว มาทดลองกำจัดดี 3 วิธี คือ

1. วิธีทางชีวภาพ ใช้เอนไซม์ทางการค้าเปอร์ออกซิเดส และเชื้อรา 2 สายพันธุ์ คือ *Phanerochaete chrysosporium* และ *Coriolus versicolor*
2. วิธีทางเคมี ใช้โพล์ิเฟอริกซัลเฟต ร่วมกับ แคลเซียมออกไซด์
3. วิธีทางกายภาพ 1) การดูดซับด้วยเนื้อเมล็ดยางพารา ทำการบ่มที่อุณหภูมิห้อง และ 40°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง กำจัดดีได้ 57 และ 54% ตามลำดับ และ 2) การกรองด้วยถักราชกำจัดดีได้ 32%

พบว่าวิธีทางเคมี โดยใช้โพล์ิเฟอริกซัลเฟตเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ร่วมกับ แคลเซียมออกไซด์เข้มข้น 10 กรัม/ลิตร สามารถกำจัดดีได้สูงสุด 84.5% และ ลดซีโอดี ได้ 86.5%

Pechsuth, Prasertsan และOkita (2001a) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในการบำบัดขั้นต้นแบบชีวภาพโดยใช้เชื้อราที่ผลิตพอลิเมอร์ 2 สายพันธุ์ คือ *Rhizopus* sp. ST4 และ *Rhizopus* sp. ST29 ที่อุณหภูมิ 45°C ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ และไม่ปลอดเชื้อ จากการเปรียบเทียบผลพบว่า

1. สภาวะปลอดเชื้อ สายพันธุ์ *Rhizopus* sp. ST29 ให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน 91.4% และค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี 66.0% สูงกว่าสายพันธุ์ *Rhizopus* sp. ST4 84.2% และ 53.4% ตามลำดับ

2. สภาวะไม่ปลอดเชื้อ สายพันธุ์ *Rhizopus* sp. ST4 ให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน 84.2% และค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี 62.2% สูงกว่าสายพันธุ์ *Rhizopus* sp. ST29 80.5% และ 40.6% ตามลำดับ

Pechsuth, Prasertsan และOkita (2001b) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบไร้อากาศที่อุณหภูมิห้อง ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิสูง ($50\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ที่อุณหภูมิ 50°C, HRT 10 วัน, OLR 9.5 กก.ซีไอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน, COD:N = 65 ค่าซีไอดีลดลงสูงสุด 81.1% ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นโดยเฉลี่ยมากกว่า 0.3 ลูกบาศก์เมตร/ลูกบาศก์เมตร/วัน

เมื่อเปรียบเทียบการบำบัดแบบไร้อากาศของน้ำทิ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการบำบัดขั้นต้น จากการใช้เชื้อราที่ผลิตพอลิเมอร์ *Rhizopus* sp. ST4 พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมีการลดลงของซีไอดี 72.6% ซึ่งสูงกว่า แต่การผลิตก๊าซชีวภาพ 0.97 ลูกบาศก์เมตร/ลูกบาศก์เมตร/วัน จะต่ำกว่าน้ำทิ้งที่ไม่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ซึ่งมีการลดลงของซีไอดี 56.1% การผลิตก๊าซชีวภาพ 1.16 ลูกบาศก์เมตร/ลูกบาศก์เมตร/วัน

จินตนา แก้วบริสุทธิ์ (2541) ได้ศึกษาการกำจัดสีและซีไอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด ที่ทำจากกะลามะพร้าวและไม้ไผ่กรองผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางพื้นที่หน้าตัด 7 เซนติเมตร สูง 187 เซนติเมตร ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 4 8 และ 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที่ พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราน้ำล้นผิวลง และยังพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากไม้ไผ่กรองสามารถดูดซับซีไอดีและสีได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าว

โสภา จันทภาโส (2541) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแยกสารแขวนลอยและน้ำมันออกจากน้ำทิ้งจาก decanter ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ผลการทดลองพบว่าน้ำทิ้งต้องมีปริมาณ

น้ำมันไม่ต่ำกว่า 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตรจึงจะทำให้เกิดตะกอนเบา (bulking solids) จากปฏิกิริยาของเอนไซม์ และการบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศา 1 ชั่วโมง พีเอช 4.5 สามารถลดค่าซีไอดีได้ร้อยละ 35 และ กำจัดน้ำมันได้ร้อยละ 95

ปรีชา มุณิศรี (2538) ได้ศึกษาการกำจัดน้ำมันในน้ำทิ้งจาก เครื่อง decanter ของเชื้อ *Aspergillus niger* ATCC 6275, *A. oryzae*, *Candida tropicalis* F-129, *C. palmeoliophila* Y-128, สายพันธุ์ ST 4 และ ST 29 พบว่าสายพันธุ์รา ST 29 ซึ่งเลี้ยงที่อุณหภูมิ 45 องศา เซลเซียส สามารถกำจัดน้ำมันได้สูงสุด (ร้อยละ 99.65) ค่าซีไอดีลดลง ร้อยละ 66 ที่เวลาการเลี้ยง เชื้อ 4 วัน การเลี้ยง *Rhodocyclus gelatinosus* R7 ในน้ำเสียจากบ่อบำบัดบ่อที่ 3 ของ โรงงาน สกัดน้ำมัน ปาล์มพบว่าที่สภาวะให้อากาศ-ไร้แสง ค่าซีไอดีลดลงสูงสุดร้อยละ 74 ที่อัตราส่วน COD:N เท่ากับ 100:0

Ho และChan (1986) บำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการ Electroflotation ใช้ PbO_2 -Ti เป็นขั้ว พบว่าของแข็งแขวนลอยจำนวน 86%จะลอยขึ้นมา ส่วนค่าซีไอดีที่พีเอช 10 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าพีเอช 4 โดยที่เวลา 3 ชั่วโมงจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งคู่ ส่วนที่เวลา 20 ชั่วโมง ที่พีเอช 4 และ พีเอช 10 จะมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 40% และ 65% ตามลำดับ

สรุป น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีลักษณะที่สำคัญคือ มีปริมาณสารอินทรีย์ในปริมาณสูงและมีสีน้ำตาลเข้ม และสามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพและทางเคมี แต่น้ำทิ้งสุดท้ายที่ได้จากการบำบัดส่วนมากก็ยังไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง ควรจะนำหลายระบบมาบำบัดต่อเนื่องกันให้ได้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสีให้ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง เพื่อที่โรงงานสามารถปล่อยน้ำเสียที่ต้องเก็บกักไว้ลงสู่แหล่งน้ำได้

2.4.2 กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

Shen และคณะ (2003) กำจัด F^- จากน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาวที่มีความเข้มข้น 15 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อผ่านกระบวนการ electrocoagulation และ electroflotation ได้ความเข้มข้นต่ำกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร พีเอชประมาณ 6 และ Charge loading 4.97 ฟาราเดย์/ลบ.ม เวลาเก็บกัก 20 นาที โดย F^- จะไปแทนที่ OH^- ในฟลอคของ $Al_n(OH)_{3n}$

วรรณวรรณ เทียงวรรณกานต์ (2545) เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากสี่ข้อมรีเอกทีฟ โดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและการตกตะกอนทางเคมี โดยแบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์สีแดง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้ขั้วเหล็กขนาด 3x6.5 เซนติเมตร ขึ้นไป ความต่างศักย์ 30 โวลต์ ใช้เวลา 1.5 ชั่วโมง ถ้าไม่ปรับค่าความนำไฟฟ้า แต่ถ้าปรับค่าความนำไฟฟ้าเป็น 7.2 ms/cm จะใช้ความต่างศักย์ 6.4 โวลต์ และใช้เวลา 30 นาที

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมี ที่ไม่ผ่านและหลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า พบว่าการใช้วิธีการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 96 ขึ้นไป และกำจัดซีไอดี ร้อยละ 55

3. ศึกษาหาประสิทธิภาพของน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม โดยใช้น้ำเสียรวมก่อนผ่านการบำบัดและน้ำเสียจากหม้อย้อม พบว่าน้ำเสียรวมใช้เวลา 2 นาที ความต่างศักย์ 6.4 โวลต์ ค่าไฟฟ้า 2.7 บาท/ลูกบาศก์เมตร ส่วนน้ำเสียจากหม้อย้อมใช้เวลา 1.5 ชั่วโมง ความต่างศักย์ 2 โวลต์ ค่าไฟฟ้า 31.95 บาท/ลูกบาศก์เมตร ประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 85 และ 98 ขึ้นไป

Bejankiwar (2002) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยาสูบ โดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ก่อนและหลังการตกตะกอนทางเคมีด้วยปูนขาว โดยใช้เหล็กหล่อเป็นอิเล็กโทรดที่กระแสไฟฟ้า 3.5 แอมแปร์ ใช้เวลา 5 ชั่วโมง มีพื้นที่ผิวของขั้ว 32 ตารางเซนติเมตร ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี และบีไอดีเป็น 56% และ 84% ตามลำดับ และใช้กระบวนการนี้ก่อนและหลังจากการตกตะกอนทางเคมี จะได้ประสิทธิภาพรวมในการกำจัดสารแขวนลอยคือ 80.59% และ 74.62%, ซีไอดี คือ 71.01% และ 81.35% และบีไอดี คือ 89.62% และ 95.66% ตามลำดับ

Xiong และคณะ (2001) ได้ศึกษาการบำบัดสีแอสิดออเรนจ์ 2 ในน้ำเสียฟอกย้อมใช้เซลล์ไฟฟ้าแบบ 3 เฟสคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ในถังปฏิกริยาแบบเท มีโคแอกกูเลชัน 2

ชนิดคือ โคแอกกูเลชันของเหล็ก และอิเล็กโตรออกซิเดชัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี 99% และ 87% ตามลำดับ โดยใช้ความต่างศักย์ 20 โวลต์ อัตราการไหลของอากาศ 0.1 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ใช้เวลาเพียง 30 นาที

Chen, Chen และ Yue (2000) วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อหาระบบที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียจากร้านอาหาร อุปกรณ์ในการวิจัยประกอบด้วย ถังปฏิกิริยาขนาด 0.3 ลิตร ถังแยกสลัดจ์ขนาด 1.2 ลิตร ใช้ขั้วไฟฟ้าขนาด 140x44x3 มิลลิเมตร จำนวน 5 ขั้ววางห่างกัน 6 มิลลิเมตร โดยมีพื้นที่ทำปฏิกิริยา 56 ตารางเซนติเมตรเมตร/ชั่วโมง ใช้น้ำเสียจากโรงอาหารใน Hong Kong University of Science and Technology (HKUST) ในการทดลองได้เวลาที่เกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 15 นาที และใช้เวลาในการตกตะกอน 1.5 ชั่วโมง ในปฏิกิริยาขนาด 2 ลิตร ผลการวิจัยพบว่า กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้านี้สามารถบำบัดน้ำเสียจากร้านอาหารได้ ส่วนค่าพีเอช เริ่มต้นของน้ำที่เข้าระบบ และค่า conductivity มีผลกับประสิทธิภาพในการบำบัด อย่างไรก็ตามมีนัยสำคัญ ได้ค่าที่เหมาะสมคือ charge loading 1.67 – 9.95 ฟาราเดย์/ลูกบาศก์เมตร และกระแสไฟฟ้า 30 – 80 แอมแปร์/ตารางเมตร ขั้วอะลูมิเนียมที่ใช้ 17.7 - 106.4 กรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะขึ้นกับลักษณะของน้ำเสียที่ทดลอง พลังงานที่ต้องการน้อยกว่า 1.5 กิโลวัตต์/ลบ.ม. ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันมากกว่า 94% และสามารถปรับสภาพน้ำเสียให้เป็นกลางได้

สรุป กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ควบคุมระบบได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดซีไอดี โดยค่าประสิทธิภาพในการบำบัดของน้ำเสียแต่ละประเภทจะขึ้นอยู่กับหลาย ๆ องค์ประกอบ เช่น ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ ความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และเวลาเก็บกักเป็นต้น ดังนั้นในการเลือกระบบนี้มาใช้งานจึงต้องหาค่าสภาวะที่เหมาะสมของน้ำเสียชนิดนั้น ๆ ก่อนนำไปประยุกต์ใช้กับงานจริง

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อกำจัดสีจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ซึ่งแผนการทดลองสำหรับงานวิจัยจะมีขั้นตอน ดังนี้

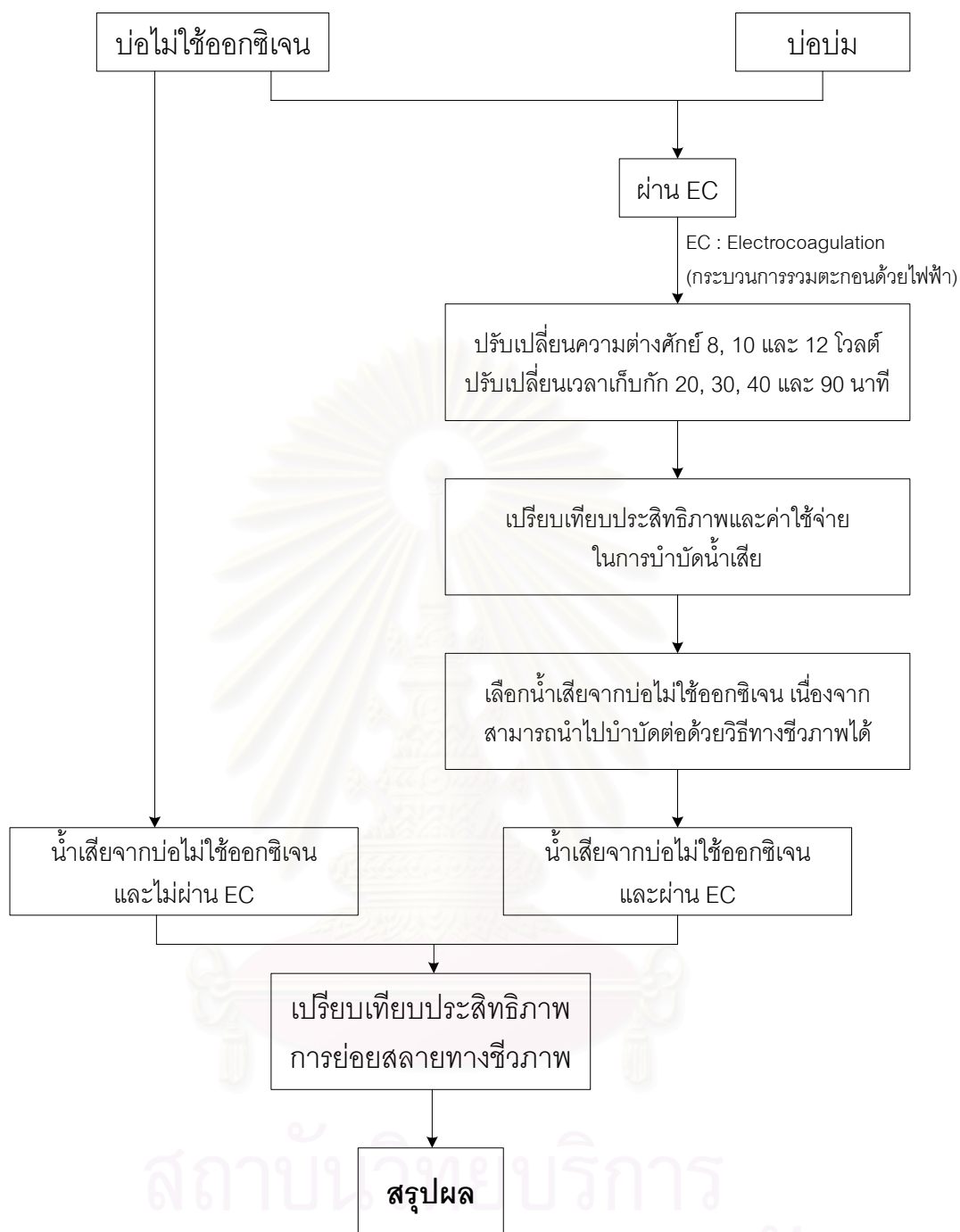
- 3.1.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่อบ่ม(บ่อสุดท้าย)
- 3.1.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียที่ผ่านบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน
- 3.1.3 การทดลองที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทางชีววิทยาของน้ำเสียที่ผ่านบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่าน และไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ดังแสดงขั้นตอนการทดลองในรูปที่ 3.1

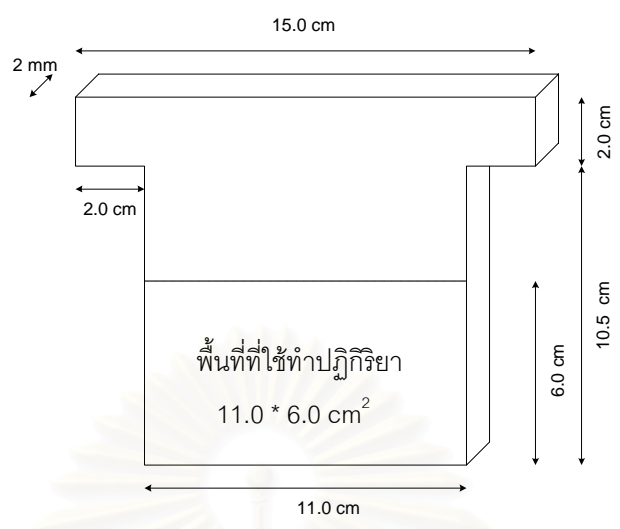
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบทีละเท (Batch) ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง ดังต่อไปนี้

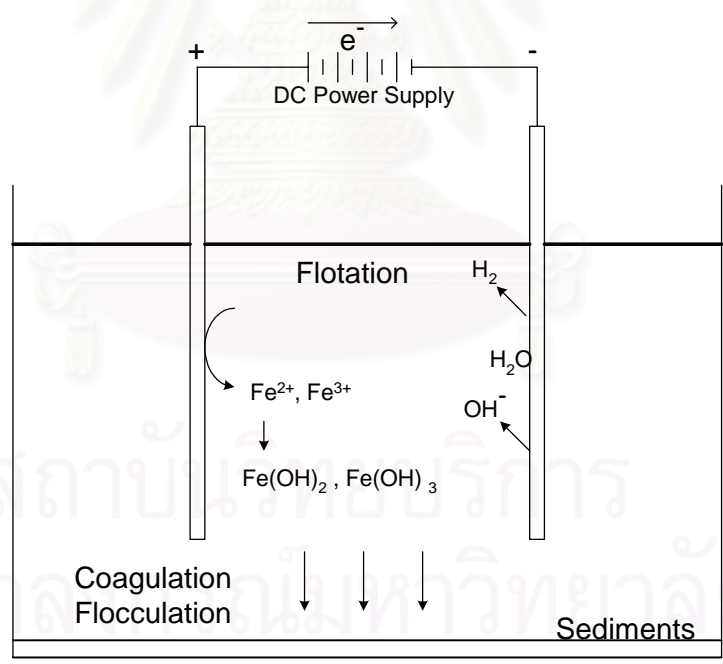
1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) เป็นเครื่องเรียงกระแสไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสไฟฟ้าตรง ซึ่งให้ความต่างศักย์สูงสุด 60 โวลต์
2. ขั้วไฟฟ้า (Electrode) ทำจากเหล็ก มีพื้นที่ที่ใช้ทำปฏิกิริยา 11.0x6.0 ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 3.2 จัดวางห่างกัน 1.5 เซนติเมตร
3. กอล่งพลาสติกใสทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.0 เซนติเมตร สูง 15.5 เซนติเมตร บากร่องลงมา 3.0 เซนติเมตร 2 ร่อง ทั้ง 2 ด้าน เพื่อรองรับขั้วไฟฟ้า
4. เครื่องกวน (Stir Plate)
5. สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.2 ลักษณะของขั้วเหล็กที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.3 กลไกที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยา

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การบำบัดโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

การทดลองที่ 1 : ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่อป๋ม(บ่อสุดท้าย)

จะเป็นการทดลองแบบทีละเท (Batch) โดยการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีไอดีของน้ำเสียบ่อป๋ม และทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีไอดี คือ

- ความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้า จะปรับเปลี่ยน 3 ค่า คือ 8,10 และ 12 โวลต์
- ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา จะปรับเปลี่ยน 4 ค่า คือ เวลา 20, 30, 40 และ 90 นาที

วิธีการทดลองมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียเริ่มต้น ได้แก่ อุณหภูมิ ซีไอดี สี พีเอช ของแข็งแขวนลอย และความนำไฟฟ้า
- 2) นำน้ำเสียประมาณ 1 ลิตรใส่ลงในกล่องพลาสติกใสทรงกระบอก แล้ววางบนเครื่องกวนอัตโนมัติด้วยไฟฟ้า
- 3) ต่อขั้วไฟฟ้าทั้งขั้วบวกและขั้วลบซึ่งทำจากเหล็ก วางห่างกัน 1.5 เซนติเมตร เข้ากับเครื่อง DC Power Supply
- 4) เปิดเครื่อง DC Power Supply แล้วปรับค่าความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าไปที่ค่าต่าง ๆ ตามที่กำหนด (8,10 หรือ 12 โวลต์)
- 5) จับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 20, 30, 40 หรือ 90 นาที
- 6) เมื่อครบตามเวลา อ่านค่ากระแสไฟฟ้า แล้วปิดเครื่อง DC Power Supply วัดอุณหภูมิหลังการทดลอง จากนั้นนำไปหาค่า SV60 และนำน้ำใสที่ได้มาหาค่าซีไอดี สี พีเอช ของแข็งแขวนลอย และความนำไฟฟ้า และทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามวิธี ดังตารางที่ 3.1
- 7) ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2
- 8) เปรียบเทียบหาประเภทของน้ำเสียที่เหมาะสมทั้งในด้านประสิทธิภาพในการบำบัดและค่าใช้จ่ายระหว่างการบำบัดน้ำเสียบ่อป๋มและน้ำเสียที่ผ่านบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
<u>น้ำใส</u>	
1. สี	Spectrophotometric Method
2. อุณหภูมิ	Mercury Filled Thermometer
3. พีเอช	Electrometric Meter
4. ของแข็งแขวนลอย	Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 °C
5. ปริมาณตะกอน	SV60
6. บีโอดี	5 days at 20 °C
7. ซีโอดี	Closed Reflux Method
8. ความนำไฟฟ้า	อ่านค่าจากเครื่องวัดความนำไฟฟ้า
9. น้ำหนักขั้วเหล็กที่ใช้	อ่านค่าจากเครื่องชั่งแบบหยาบ
10. กระแสไฟฟ้า	อ่านค่าจาก DC Power Supply
<u>ตะกอน</u>	
1. ปริมาณเหล็ก	Atomic Absorption Spectrophotometry
2. ทีเคเอ็น	Macro Kjeldahl Method
3. ฟอสฟอรัสทั้งหมด	Vanadomolybdophosphoric Acid Method
4. ของแข็งแขวนลอย	Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 °C

การทดลองที่ 2 : ศึกษาสถานะที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า จากน้ำเสียที่ผ่านบ่อบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

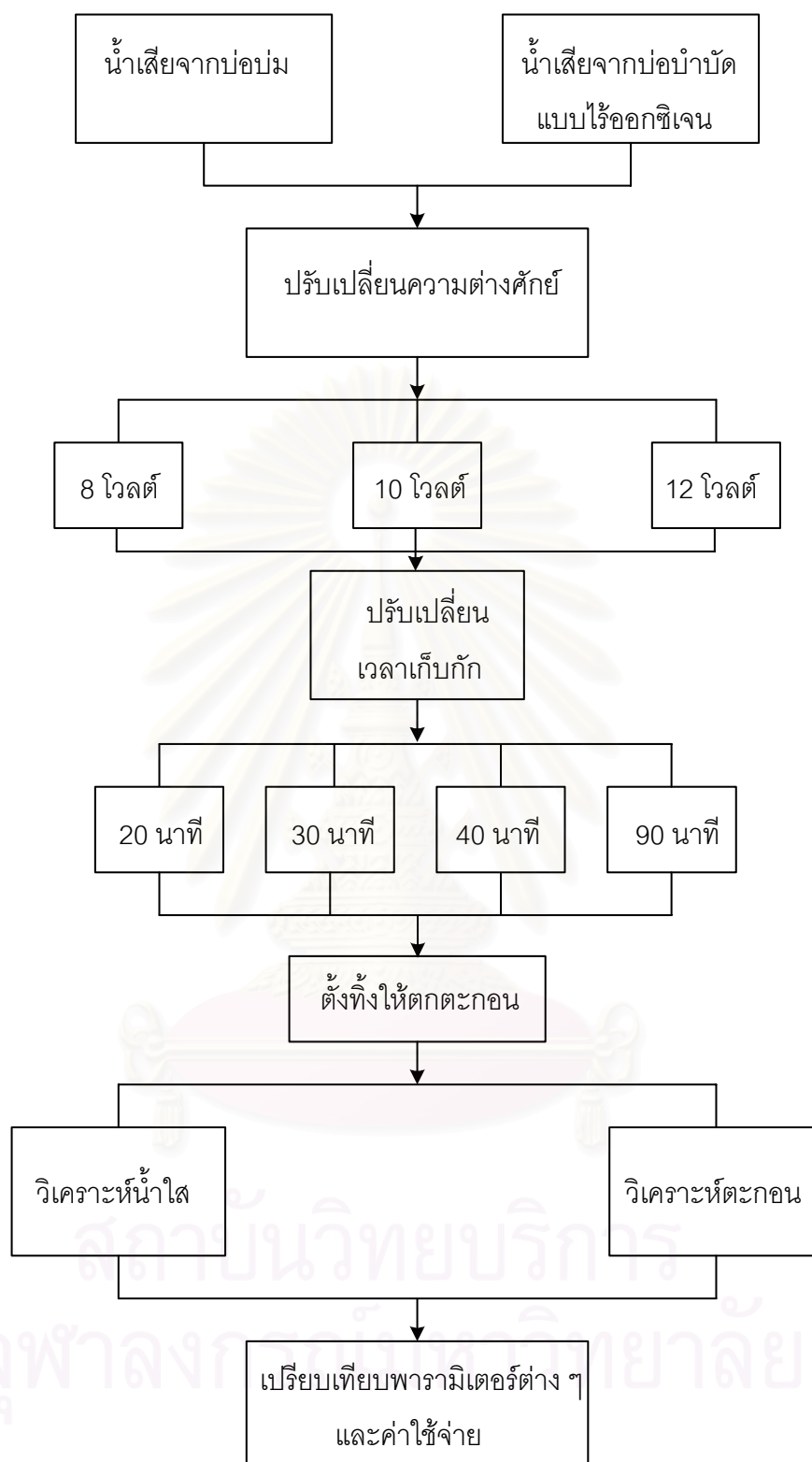
ทำการทดลอง ดังเช่นการทดลองที่ 1 แต่เปลี่ยนน้ำเสียจากบ่อบ่ม เป็นน้ำเสียที่ผ่านบ่อบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์

การทดลองที่	ขั้นตอนที่	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรคงที่	ตัวแปรตาม
1 (น้ำเสียจาก บ่อสุดท้าย)	1.1	เวลาเก็บกัก 1. 20 นาที 2. 30 นาที 3. 40 นาที 4. 90 นาที	1. ความต่างศักย์ 8 โวลต์ 2. ขั้วไฟฟ้าเป็นขั้วเหล็ก 3. ระยะห่างระหว่าง ขั้วไฟฟ้า 1.5 เซนติเมตร	1. สี 2. อุณหภูมิ 3. พีเอช 4. ของแข็งแขวนลอย 5. ปริมาณตะกอน 6. ซีไอดี 7. ความนำไฟฟ้า 8. น.น.ขั้วเหล็กที่ใช้ไป 9. กระแสไฟฟ้า
	1.2	เวลาเก็บกัก 1. 20 นาที 2. 30 นาที 3. 40 นาที 4. 90 นาที	1. ความต่างศักย์ 10 โวลต์ 2. ขั้วไฟฟ้าเป็นขั้วเหล็ก 3. ระยะห่างระหว่าง ขั้วไฟฟ้า 1.5 เซนติเมตร	1. สี 2. อุณหภูมิ 3. พีเอช 4. ของแข็งแขวนลอย 5. ปริมาณตะกอน 6. ซีไอดี 7. ความนำไฟฟ้า 8. น.น.ขั้วเหล็กที่ใช้ไป 9. กระแสไฟฟ้า
	1.3	เวลาเก็บกัก 1. 20 นาที 2. 30 นาที 3. 40 นาที 4. 90 นาที	1. ความต่างศักย์ 12 โวลต์ 2. ขั้วไฟฟ้าเป็นขั้วเหล็ก 3. ระยะห่างระหว่าง ขั้วไฟฟ้า 1.5 เซนติเมตร	1. สี 2. อุณหภูมิ 3. พีเอช 4. ของแข็งแขวนลอย 5. ปริมาณตะกอน 6. ซีไอดี 7. ความนำไฟฟ้า 8. น.น.ขั้วเหล็กที่ใช้ไป 9. กระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ต่อ)

การทดลองที่	ขั้นตอนที่	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรคงที่	ตัวแปรตาม
2 (น้ำเสียจาก บ่อบำบัดแบบ ไม่ใช้ออกซิเจน)	2.1	เวลาเก็บกัก 1. 20 นาที 2. 30 นาที 3. 40 นาที 4. 90 นาที	1. ความต่างศักย์ 8 โวลต์ 2. ขั้วไฟฟ้าเป็นขั้วเหล็ก 3. ระยะห่างระหว่าง ขั้วไฟฟ้า 1.5 เซนติเมตร	1. สี 2. อุณหภูมิ 3. พีเอช 4. ของแข็งแขวนลอย 5. ปริมาณตะกอน 6. ซีโอดี 7. ความนำไฟฟ้า 8. น.น.ขั้วเหล็กที่ใช้ไป 9. กระแสไฟฟ้า
	2.2	เวลาเก็บกัก 1. 20 นาที 2. 30 นาที 3. 40 นาที 4. 90 นาที	1. ความต่างศักย์ 10 โวลต์ 2. ขั้วไฟฟ้าเป็นขั้วเหล็ก 3. ระยะห่างระหว่าง ขั้วไฟฟ้า 1.5 เซนติเมตร	1. สี 2. อุณหภูมิ 3. พีเอช 4. ของแข็งแขวนลอย 5. ปริมาณตะกอน 6. ซีโอดี 7. ความนำไฟฟ้า 8. น.น.ขั้วเหล็กที่ใช้ไป 9. กระแสไฟฟ้า
	2.3	เวลาเก็บกัก 1. 20 นาที 2. 30 นาที 3. 40 นาที 4. 90 นาที	1. ความต่างศักย์ 12 โวลต์ 2. ขั้วไฟฟ้าเป็นขั้วเหล็ก 3. ระยะห่างระหว่าง ขั้วไฟฟ้า 1.5 เซนติเมตร	1. สี 2. อุณหภูมิ 3. พีเอช 4. ของแข็งแขวนลอย 5. ปริมาณตะกอน 6. ซีโอดี 7. ความนำไฟฟ้า 8. น.น.ขั้วเหล็กที่ใช้ไป 9. กระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.4 การเปรียบเทียบหาชนิดของน้ำเสียที่เหมาะสมในการบำบัดโดยใช้การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

3.3.2 การศึกษาค่าใช้จ่ายในการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

1) การศึกษานี้จะคำนวณเฉพาะค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด โดยการคิดค่าไฟฟ้าจะคิดจากการใช้พลังงานในการบำบัดคูณกับราคาไฟฟ้าต่อหน่วย ดังนี้

$$\text{จากสูตร} \quad \text{ค่าไฟฟ้า} = (\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} * \text{ค่าหน่วย/หน่วย}) + (\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} * \text{FT}) + \text{VAT7\%}$$

2) ค่าใช้จ่ายจากปริมาณขั้วเหล็ก (Electrode) ที่ใช้ไป

3.3.3 การศึกษาการย่อยสลายทางชีววิทยาของน้ำเสียที่ผ่าน และไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

การทดลองที่ 3 : การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทางชีววิทยาของน้ำเสียที่ผ่าน บ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

การทดลองนี้ต้องการเน้นถึงความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์และสี โดยการเปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่านและไม่ผ่านการบำบัดแบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร โดยมีขอบเขตการทดลองดังนี้

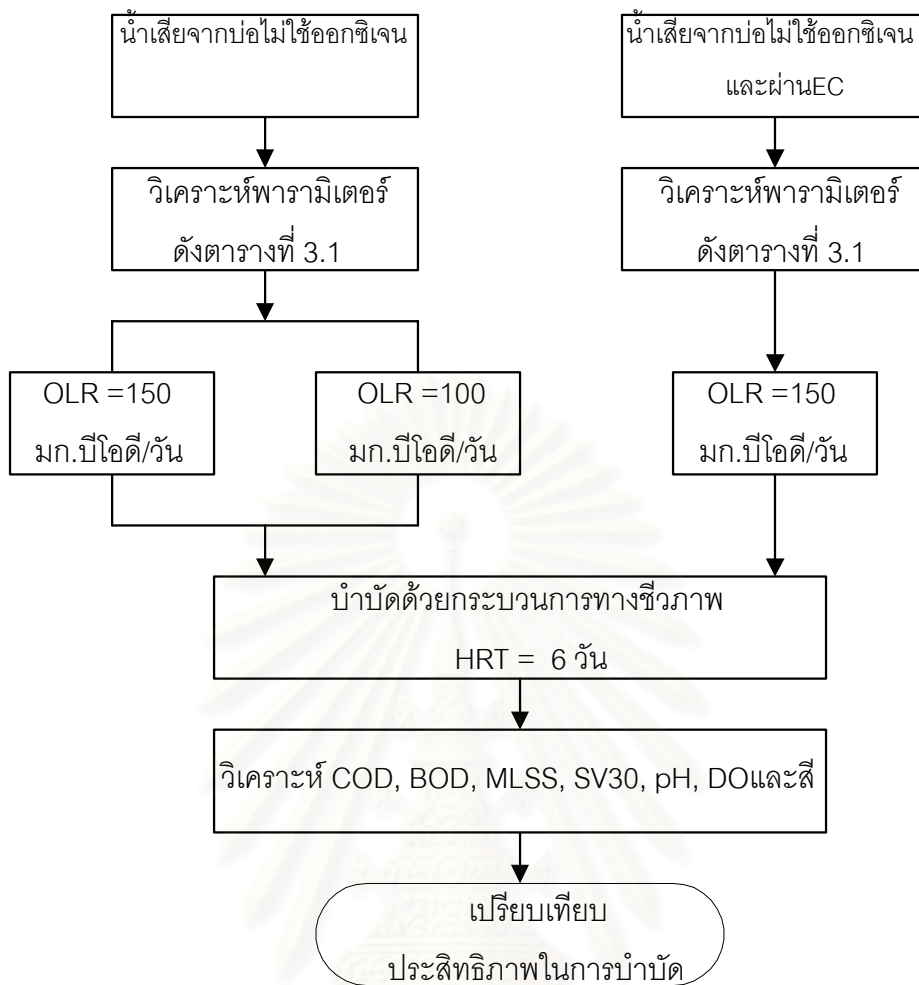
ตัวแปรกำหนดที่ต้องการให้คงที่ ได้แก่

1. เวลาของระบบคือ 24 ชั่วโมง/1 วงจร
2. ช่วงเวลาในการเติมอากาศ 23 ชั่วโมง/วัน การตกตะกอน 1 ชั่วโมง/วัน
3. ปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ คือ 0.5 ลิตร/วัน (ค่าความเข้มข้นบีโอดี ประมาณ 300 มก./ลิตร) คิดเป็นภาระบีโอดีเท่ากับ 150 มก./วัน ภาระซลศาสตร์ เท่ากับ 6 วัน

3.3.3.1 น้ำเสียที่ใช้สำหรับการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพจะแบ่งออกเป็น 2 ถัง คือ

1) ถังที่ 1 ใช้น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

2) ถังที่ 2 ใช้น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า



รูป 3.5 วิธีการทดลองกระบวนการทางชีวภาพ

3.3.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) ถังปฏิกรณ์ ใช้ถังพลาสติกใสปริมาตร 6 ลิตร จำนวน 2 ถัง
- 2) เครื่องเติมอากาศ จำนวน 2 ชุด

3.3.3.3 ขั้นตอนในการทดลองกระบวนการทางชีวภาพ

- 1) นำตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge) จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยาจากส่วนสลัดจ์เวียนกลับ (Return Sludge) โดยนำมาเลี้ยงในปริมาตร 3 ลิตร โดยใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 6 ลิตร เพื่อปริมาตรสำหรับกันฟองที่อาจเกิดขึ้นและล้นออกมาได้ มีการปรับสภาพเพื่อให้จุลชีพคุ้นเคย โดยเติมน้ำเสียจากหัวข้อ 3.3.3.1 ลงไปเพิ่มขึ้นวันละ 10% ของปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (0.5 ลิตร/วัน) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 สัปดาห์

2) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จะทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์น้ำเสียและตะกอน ดังนี้ หยุดเครื่องเติมอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการจมตัวของจุลชีพ แล้วจึงระบายน้ำส่วนที่ได้ออก 0.5 ลิตร ทำการเปิดเครื่องเติมอากาศพร้อมกับเติมน้ำเสีย 0.5 ลิตรจากหัวข้อ 3.3.3.1 ลงไปในแต่ละถัง

3) เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ค่า MLSS, BOD และ COD สัปดาห์ละ 3 ครั้ง เป็นเวลา 2 สัปดาห์

การทดลองนี้ได้มีการเติมอาหารเสริมคือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงไปในเกินพอเพื่อไม่ให้มีขีดจำกัดทางด้านอาหารเสริม ซึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพ อันจะก่อให้เกิดปัญหาต่อประสิทธิภาพของระบบได้ สำหรับค่า DO ได้ทำการเติมอากาศอย่างมากจนอยู่ในระดับสูง คือ ประมาณ 5-7 มิลลิกรัม/ลิตรเสมอ



น้ำเสียที่ผ่านบำบัด
แบบไม่ใช้ออกซิเจน

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการ
รวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

รูปที่ 3.6 ถังปฏิกิริยากระบวนการทางชีวภาพ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการกำจัดสีและซีไอดี จากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ในถังปฏิกรณ์แบบที่ละเท (Batch) โดยใช้ น้ำเสียจากบ่อป๋ม และบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีการทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจาก น้ำเสียบ่อป๋ม (บ่อสุดท้าย)

การทดลองที่ 2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจาก น้ำเสียที่ผ่านบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การทดลองที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทางชีววิทยาของน้ำเสียจากบ่อ บำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

4.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากบ่อป๋ม และบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งมีลักษณะดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	น้ำจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ O ₂			น้ำจากบ่อป๋ม		
	ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย	SD	ต่ำสุด-สูงสุด	เฉลี่ย	SD
pH	8.11 - 8.60	8.29	0.15	8.68 - 9.17	9.00	0.13
COD(mg/L)	4373 - 5840	5152	517.16	2147 - 2773	2406	244.84
BOD(mg/L)	348-612	463	106.57	105-220	134	38.26
สี (SU)	475-611	541	41.35	260 - 295	277	13.22
ความนำไฟฟ้า(μ S/cm)	10.08-11.89	10.65	0.71	10.11-12.77	11.45	0.91
SS(mg/L)	1273-2493	1862	335.02	250-395	318	48.50
TKN(mg/L)*	115.73 - 224.04	172.17	39.76	52.60 -103.21	77.55	16.64
TP (mg/L)*	20.70 - 33.27	25.44	4.33	10.91 - 15.14	13.24	1.28

หมายเหตุ ข้อมูลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียจำนวน 12 ตัวอย่าง และ * จำนวน 9 ตัวอย่าง

ตามลำดับ

4.2 การทดลองที่ 1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่อป๋ม(บ่อสุดท้าย)

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียจากบ่อป๋มมาผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ 3 ค่า คือ 8, 10 และ 12 โวลต์ และปรับเปลี่ยนเวลาเก็บกัก 4 ค่า คือ 20, 30, 40 และ 90 นาที ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีไอดีของน้ำเสียจากบ่อป๋ม

พารามิเตอร์		ลักษณะสมบัติของน้ำเสียหลังการทดลอง							
ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	SS (มก./ล.)	ซีไอดี (มก./ล.)	สี (SU)	SS Removal eff.(%)	COD Removal eff.(%)	Color Removal eff. (%)
8	20	38.0	9.34	149	1127	37.17	49.15	47.52	86.79
	30	38.7	9.39	126	1120	22.83	50.78	48.15	91.26
	40	44.0	9.45	118	1090	20.77	61.94	51.34	92.06
	90	58.5	9.98	110	933	11.05	71.35	62.76	96.28
10	20	40.0	9.31	132	1320	29.70	54.48	50.00	89.43
	30	43.5	9.48	122	1233	21.48	62.58	51.84	91.77
	40	44.5	9.84	115	1087	20.60	65.67	57.55	92.69
	90	62.0	10.14	102	991	10.50	74.18	64.28	96.45
12	20	48.0	9.00	124	1066	29.30	55.07	50.66	89.58
	30	51.0	9.26	108	961	19.67	66.77	55.51	92.45
	40	55.0	9.65	68	936	15.86	72.80	58.21	93.16
	90	68.3	10.04	60	693	9.95	84.08	75.00	96.64
* STD effluent	-	40	5.5-9.0	50	120	-	-	-	-

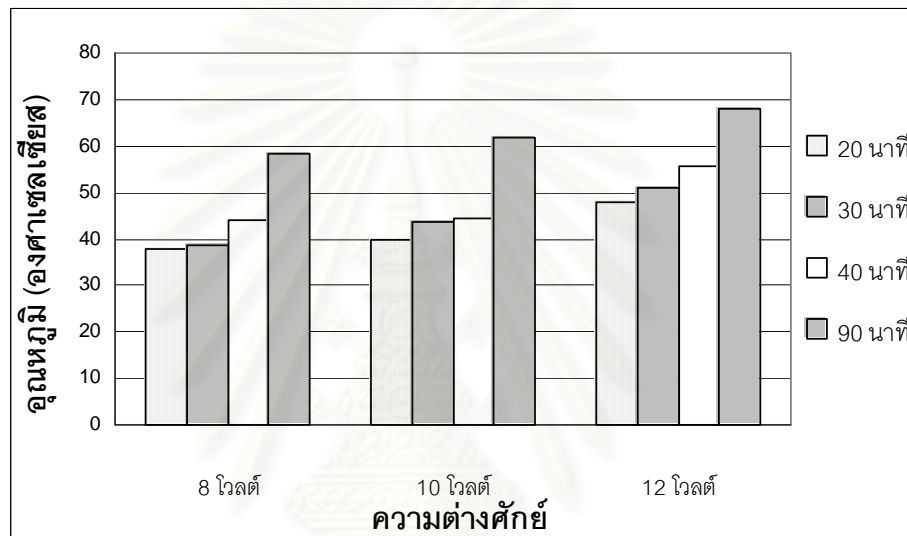
ที่มา : * กรมควบคุมมลพิษ, 2546.

4.2.1 อุณหภูมิ

จากผลการทดลอง พบว่าน้ำเสียที่อุณหภูมิห้อง (25-29°C) เมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่เนื่องจากการปรับค่าความต่างศักย์และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างกัน จึงทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เท่ากันโดยที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิหลังทดลองต่ำที่สุด คือ 38 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับมีค่าน้อย ดังนั้นพลังงานบางส่วนที่ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน (Ampere Loss) จึงมีค่าลดลง

ตามไปด้วย (กัณฑ์มาศ สุทธิเรืองวงศ์, 2538) เมื่อเพิ่มความต่างศักย์และเวลาเก็บกักจะทำให้
 อุณหภูมิของน้ำหลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าสูงขึ้น

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การทดลองที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ จะไม่เหมาะสม
 เนื่องจากอุณหภูมิน้ำเสียหลังการทดลองจะสูงเกินไป (48-68 องศาเซลเซียส) และที่เวลาเก็บกัก
 90 นาทีของทุกความต่างศักย์ อุณหภูมิน้ำเสียหลังการทดลองก็จะสูงเกินไปเช่นกัน (58.5-68
 องศาเซลเซียส) ดังนั้นค่าความต่างศักย์ที่เหมาะสม คือ 8 - 10 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 - 40 นาที รูป
 ที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิของน้ำหลังบำบัดที่ความต่างศักย์และเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม
 เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน

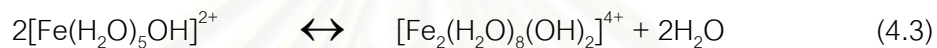
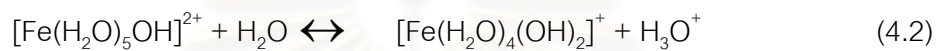
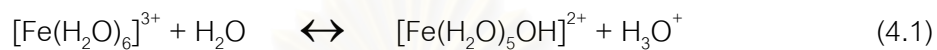
4.2.2 สี

น้ำเสียจากบ่อป๋มมีความเข้มสีเริ่มต้นเฉลี่ย 277 SU โดยน้ำเสียมีสีน้ำตาลเข้ม มีความขุ่น
 สูง จากผลการปรับเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้า ในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋มด้วยกระบวนการ
 รวมตะกอนด้วยไฟฟ้าพบว่า เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ของไฟฟ้าขึ้นจาก 8 เป็น 10 โวลต์
 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีก็เพิ่มขึ้น โดยที่เวลาเก็บกัก 20 นาที มีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 87
 และ 89 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ ประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่
 4.2 และ 4.3

เมื่อเพิ่มเวลาเก็บกักที่ความต่างศักย์คงที่ ประสิทธิภาพการกำจัดก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยมี
 ประสิทธิภาพสูงสุด 96.64% ที่ความต่างศักย์ 8 ถึง 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 90 นาที อย่างไรก็ตาม ที่
 ความต่างศักย์ 8 ถึง 10 โวลต์ เวลาเก็บกัก 30 นาที มีสีที่เหลือประมาณ 20 SU และประสิทธิภาพ

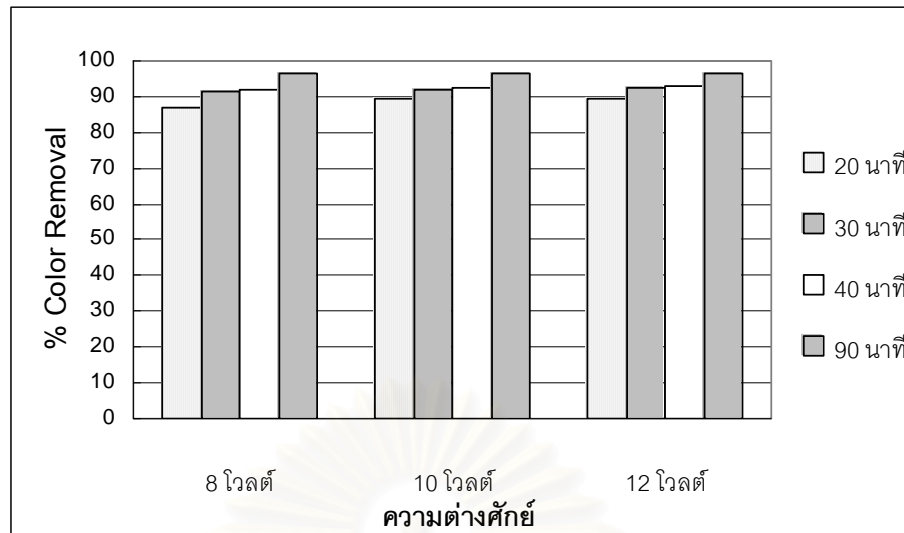
การกำจัดก็สูงกว่า 90% เมื่อพิจารณาด้วยตาพบว่าน้ำเสียหลังตกตะกอนมีความใส และสีอ่อนมาก ดังรูปที่ 4.4 – 4.6

กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันในการกำจัดสี และจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮดรอกซีคอมเพล็กซ์ของเหล็กดังสมการที่ 4.1 - 4.5 (Szpyrkowicz, Juzzolino และKaul, 2001) โดยจะเกิดฟลอคของโลหะไฮดรอกไซด์จับอนุภาคของสีตกตะกอนลงมา

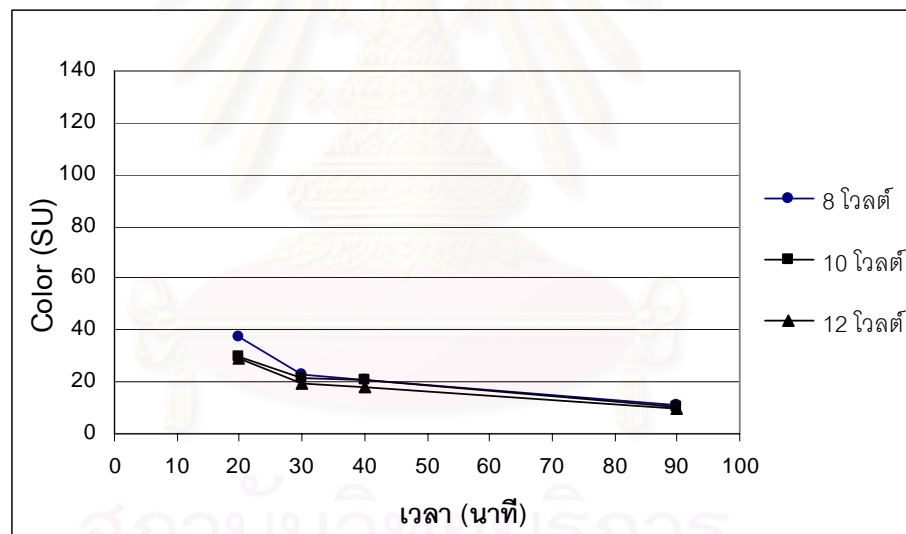


สีของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มส่วนมากจะเกิดจากสารอินทรีย์ ดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.3.5 ส่วนเหล็กจะเกิดจากขั้วบวกที่ละลายออกมาจากการให้ไฟฟ้ากับระบบ ซึ่งสารประกอบเหล็กนี้ไม่ว่าจะอยู่ในรูป $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_2^+$, $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}$, $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]^+$, $[\text{Fe}_2(\text{H}_2\text{O})_8(\text{OH})_2]^{4+}$ ซึ่งสุดท้ายจะอยู่ในรูป $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Kobyas, Can และBayramoglu, 2003) จะทำหน้าที่เป็นสารโคแอกกูแลนต์จับกับสีในน้ำเสีย และตกตะกอนลงมาทำให้สีของน้ำเสียลดลงได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อปอม
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.3 สีที่เหลือหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อปอม
เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน



1 2 3 4 5

รูปที่ 4.4 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์

1.น้ำเสียดิบ 2.เวลาเก็บกัก 20นาที 3.เวลาเก็บกัก 30นาที 4.เวลาเก็บกัก 40นาที 5.เวลาเก็บกัก 90นาที



1 2 3 4 5

รูปที่ 4.5 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์

1.น้ำเสียดิบ 2.เวลาเก็บกัก 20นาที 3.เวลาเก็บกัก 30นาที 4.เวลาเก็บกัก 40นาที 5.เวลาเก็บกัก 90นาที



1 2 3 4 5

รูปที่ 4.6 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์

1.น้ำเสียดิบ 2.เวลาเก็บกัก 20นาที 3.เวลาเก็บกัก 30นาที 4.เวลาเก็บกัก 40นาที 5.เวลาเก็บกัก 90นาที

4.2.3 ซีโอดี

ค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียก่อนการทดลอง คือ 2,406 มิลลิกรัม/ลิตร หลังจากผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ 8, 10 และ 12 โวลต์ และเวลาเก็บกัก 20, 30, 40 และ 90 นาที พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 47.52%-75% โดยพบว่าที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำสุดเท่ากับ 47% และมีค่าซีโอดีที่เหลือในน้ำเสีย 1,127 มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8

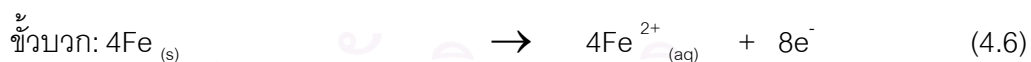
จากรูปที่ 4.8 จะพบว่าค่าซีโอดีที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 และ 30 นาที มีค่าสูงกว่าที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 และ 30 นาที ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำเสียเริ่มต้นที่ใช้มีค่าความเข้มข้นของซีโอดีไม่เท่ากัน ที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์ มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นสูงกว่า จึงส่งผลให้เมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแล้วทำให้ยังคงมีค่าซีโอดีที่เหลือมากกว่าได้

การเพิ่มความต่างศักย์มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เช่น ที่เวลาเก็บกัก 20 นาที ความต่างศักย์ 8 - 12 โวลต์ ค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเพียง 0.66%-2.48% และการเพิ่มเวลาเก็บกัก ประสิทธิภาพในการกำจัดก็เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน เช่นที่ ความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 - 40 นาที ค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เพิ่มขึ้น 0.63%- 3.19% ที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 90 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดคือ 75%

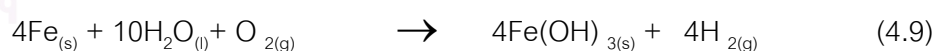
แม้ว่าการเพิ่มความต่างศักย์ที่ 12 โวลต์จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้สูงสุด แต่พบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียและพลังงานไฟฟ้าที่มีค่าสูงมาก จึงสรุปได้ว่า ความต่างศักย์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดซีโอดีสูงสุดคือ อยู่ในช่วง 8 - 10 โดยเวลาที่ใช้ในการทดลองจะเป็นที่ 20 นาที เนื่องจากถ้าเวลาเก็บกักมากจะทำให้อุณหภูมิน้ำเสียหลังการทดลองสูงเกินไป

โดยค่าซีโอดีลดลงได้ด้วยกลไกดังต่อไปนี้ (Mollah และคณะ, 2001)

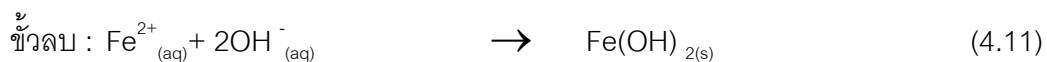
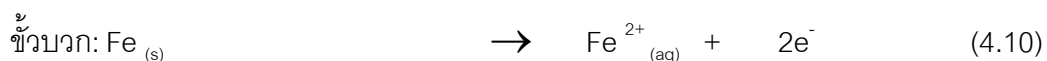
กลไกที่ 1



ปฏิกิริยารวม



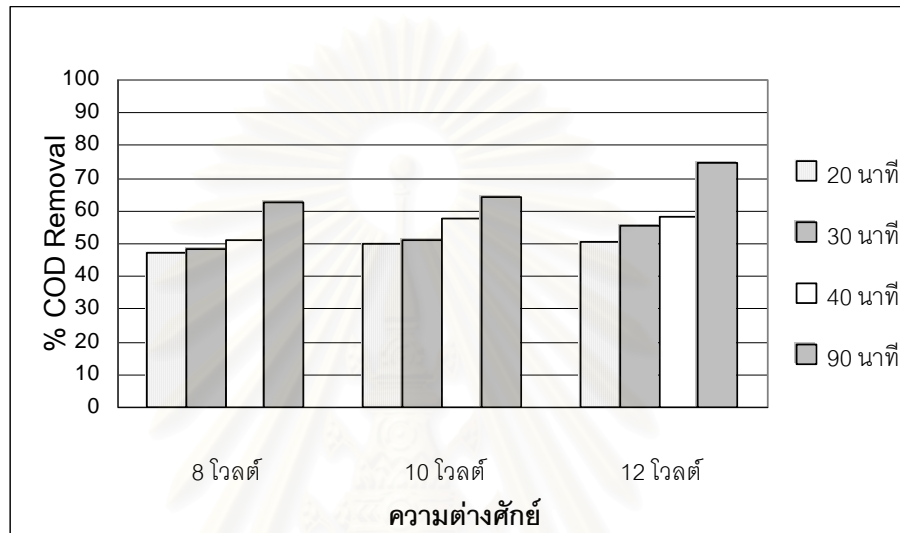
กลไกที่ 2



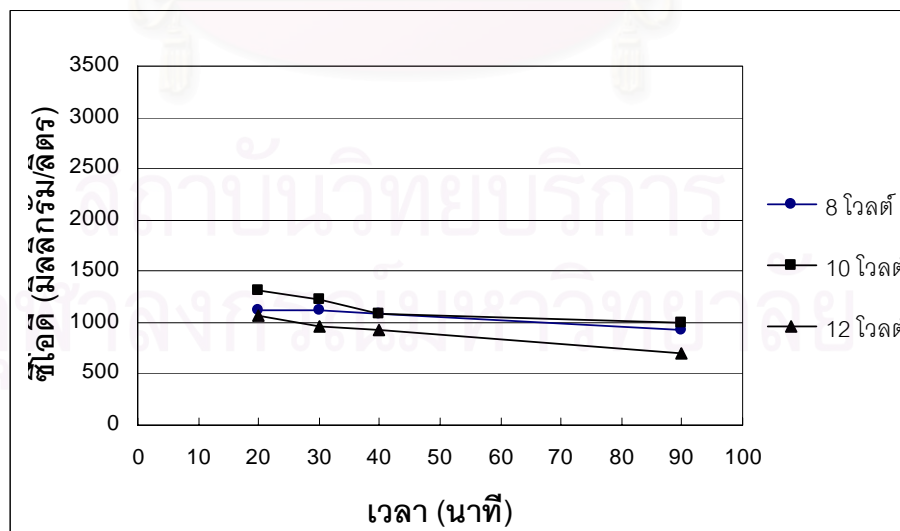
ปฏิกิริยารวม



ซึ่งเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_{2(s)}$) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$) จะจับกับซีไอดีในน้ำเสียและกลายเป็นฟล็อกตกตะกอนลงมา ทำให้ค่าซีไอดีในน้ำเสียลดลง



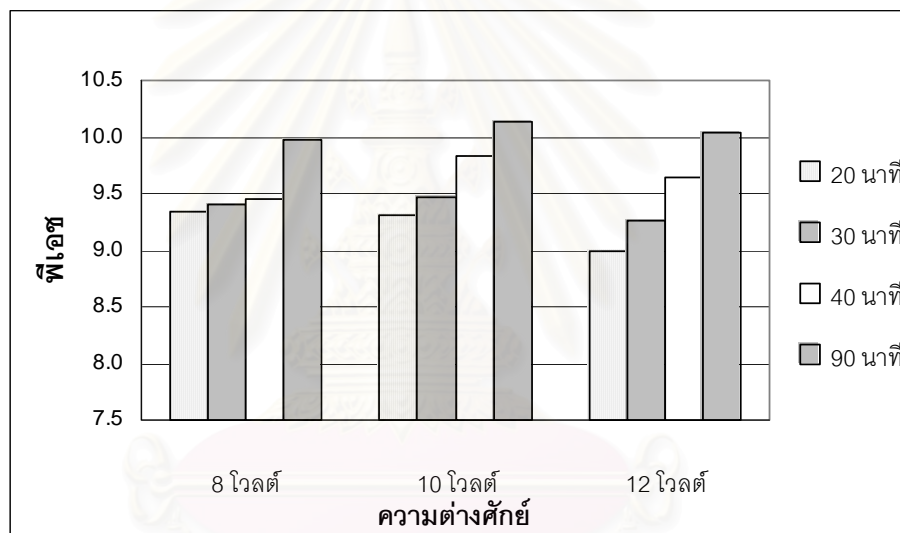
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋มเมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.8 ซีไอดีที่เหลือหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋มเมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน

4.2.4 พีเอช

พีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยในช่วง 8.68 - 9.17 หลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าพบว่า ค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.00 - 10.14 ดังแสดงในรูปที่ 4.9 เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ พีเอชจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้าจะมากขึ้นทำให้ขั้วเหล็กสลายออกมามากขึ้น เกิดหมู่ OH^- และจับเป็นตะกอนกับขั้วเหล็กที่สลายออกมากลายเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ และเมื่อเพิ่มเวลาเก็บกักก็จะยิ่งทำให้เกิดตะกอน $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ขึ้นมาในระบบจำนวนมากเช่นกัน เมื่อเพิ่มความต่างศักย์และเวลาเก็บกักจึงทำให้พีเอชเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าพีเอชหลังทดลองมีค่าสูงเกินไปจะไม่ดีเนื่องจากจะเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (พีเอช 5.5 - 9.0) ดังนั้นจะได้ค่าที่เหมาะสมคือ ที่ความต่างศักย์ 8 - 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 - 30 นาที

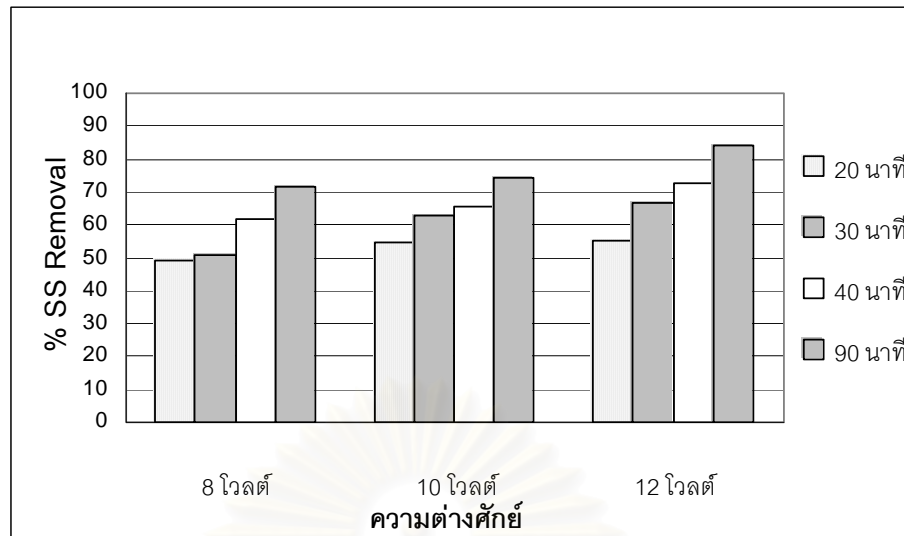


รูปที่ 4.9 พีเอชหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม

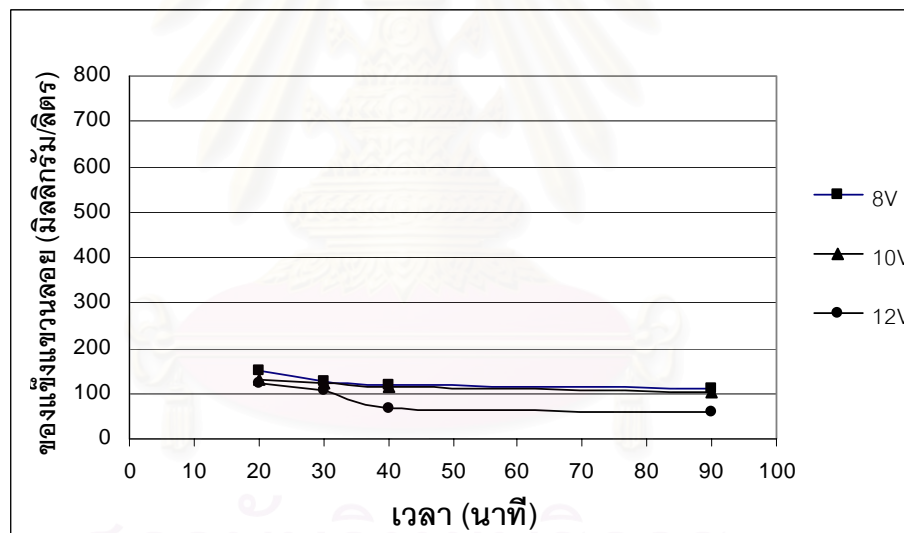
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน

4.2.5 ของแข็งแขวนลอย

น้ำเสียเริ่มต้นมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 318 มิลลิกรัม/ลิตร และกรองผ่านกระดาษ GF/C ได้ยาก เมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแล้วพบว่าเกิดของแข็งแขวนลอยและสามารถกรองผ่านกระดาษ GF/C ได้ง่าย โดยเมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้นค่าของแข็งแขวนลอยจะลดลง และเมื่อเพิ่มเวลาเก็บกักค่าของแข็งแขวนลอยก็ลดลงเช่นกัน โดยมีค่าของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 60 - 149 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ระหว่างร้อยละ 49.15 ถึง 84.08 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน

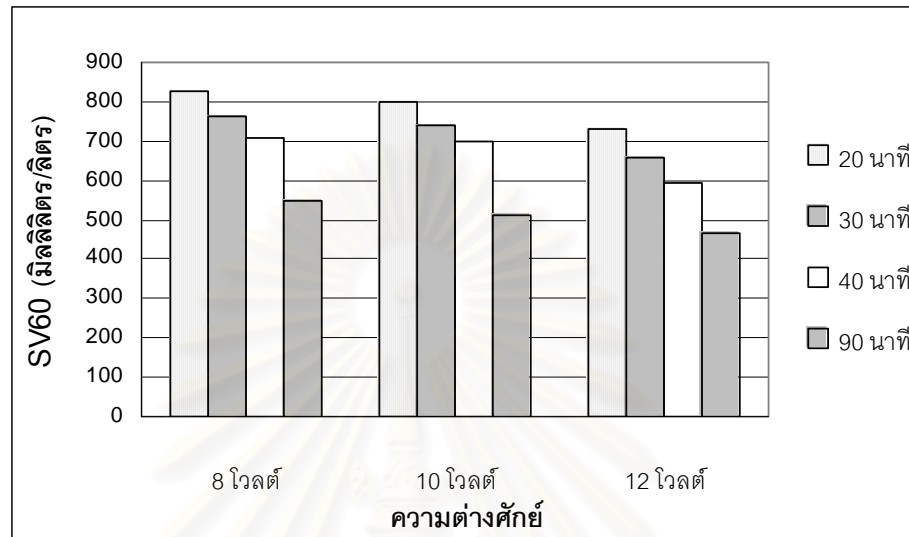


รูปที่ 4.11 ของแข็งแขวนลอยที่เหลือหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน

4.2.6 SV60

จากการทดลองได้วัดค่า SV60 เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้านี้มีปริมาณตะกอนค่อนข้างมาก และใช้เวลาในการตกตะกอนนาน น้ำเสียก่อนการทดลองมีความขุ่นสูงและของแข็งส่วนใหญ่เป็นของแข็งแขวนลอยซึ่งตกตะกอนยากแม้ว่าจะตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน จากการทดลองพบว่า เมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้น ค่า SV60 จะลดลงเนื่องจากตะกอนจับตัวกัน

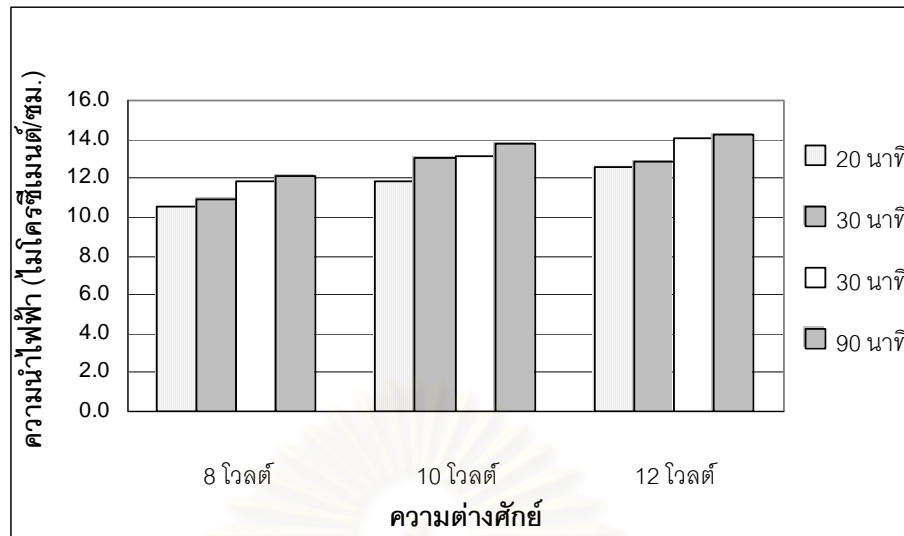
แน่นขึ้น แต่ตะกอนก็ยังคงเกิดมาก โดยมีค่า SV60 ในช่วง 468 - 828 มิลลิเมตร/ลิตร และเมื่อเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้น ค่า SV60 ก็จะลดลงเช่นกัน จะได้เวลาที่ลดลงที่ให้ค่า SV60 ต่ำสุดคือ ที่เวลา 90 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 SV60 ของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อบ่มเมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน

4.2.7 ความนำไฟฟ้า

น้ำเสียก่อนการทดลองมีค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยเป็น $11.45 \mu\text{S}/\text{cm}$ แต่หลังจากผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า พบว่า ค่าความนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากหลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะเกิดปริมาณอิออนเพิ่มขึ้นมากกว่าปริมาณอิออนที่ใช้ทำปฏิกิริยาเนื่องจากปริมาณอิออนมีผลต่อค่าความนำไฟฟ้า คือถ้าปริมาณอิออนมีค่าลดลง ค่าความนำไฟฟ้าก็จะลดลงตามไปด้วย (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2545) โดยหลังทดลองค่าความนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 10.56 ถึง $14.08 \mu\text{S}/\text{cm}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ค่าความนำไฟฟ้าหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน

4.2.8 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม

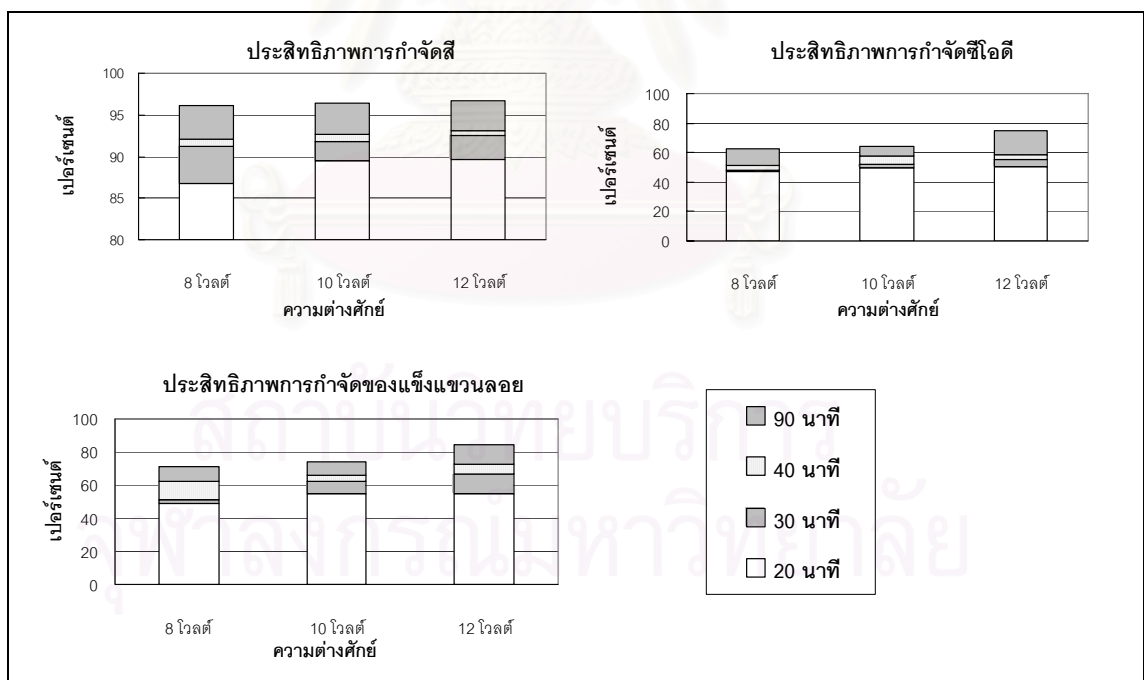
สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์ เวลาเก็บกัก 30 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี คือ 91.77% ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 51.84% และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย 62.58% ซึ่งจะยังมีค่าพีเอชและอุณหภูมิเกินค่ามาตรฐานอยู่เพียงเล็กน้อย

ที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 90 นาที แม้จะมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดแต่น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะมีอุณหภูมิสูงเกินไป เช่นเดียวกับที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 - 40 นาที และที่ความต่างศักย์ 8 และ 10 โวลต์ ที่เวลา 40 นาที ก็มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ แต่ก็ต้องพิจารณาค่าใช้จ่ายอีกครั้งในหัวข้อ 4.4

ส่วนการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย เมื่อปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์และเวลาเก็บกัก มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.3 การเพิ่มขึ้นของค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีไอดีของน้ำเสียจากบ่อป๋ม

ความ ต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพใน การกำจัดสี (%)	การเพิ่มขึ้น ของ ประสิทธิภาพ ในการกำจัดสี (%)	ประสิทธิภาพใน การกำจัด ซีไอดี (%)	การเพิ่มขึ้น ของ ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีไอดี (%)	ประสิทธิภาพ ของแข็ง แขวนลอย (%)	การเพิ่มขึ้นของ ประสิทธิภาพใน การกำจัด ของแข็ง แขวนลอย(%)
8	20	86.79	-	47.52	-	49.15	-
	30	91.26	4.47	48.15	0.63	50.78	1.63
	40	92.06	0.80	51.34	3.19	61.94	11.15
	90	96.28	4.00	62.76	11.42	71.35	9.42
10	20	89.43	-	50.00	-	54.48	-
	30	91.77	2.34	51.84	1.84	62.58	8.09
	40	92.69	0.92	57.55	5.71	65.67	3.09
	90	96.45	3.76	64.28	6.73	71.35	8.51
12	20	89.58	-	50.66	-	55.07	-
	30	92.45	2.87	55.51	4.85	66.77	11.70
	40	93.16	0.71	58.21	2.7	72.80	6.03
	90	96.64	3.48	75.00	16.79	84.08	11.28



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีไอดี และของแข็งแขวนลอย
ของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อป๋ม

4.3 การทดลองที่ 2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียที่ผ่านบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน มาผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ 3 ค่า คือ 8, 10 และ 12 โวลต์และปรับเปลี่ยนเวลาเก็บกัก 4 ค่า คือ 20, 30, 40 และ 90 นาที ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีไอดีของน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

พารามิเตอร์		ลักษณะสมบัติของน้ำเสียหลังการทดลอง							
ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ	พีเอช	SS (มก./ล.)	ซีไอดี (มก./ล.)	สี (SU)	SS Removal eff.(%)	COD Removal eff.(%)	Color Removal eff. (%)
8	20	30.0	8.70	1554	3330	133.25	31.66	34.99	76.13
	30	34.0	8.77	1140	2867	99.70	54.27	43.96	80.85
	40	39.0	8.86	630	1930	92.25	68.72	55.80	83.63
	90	54.0	9.36	320	1773	72.15	81.90	59.46	87.38
10	20	38.0	8.82	910	3187	120.20	44.92	37.82	76.59
	30	39.6	8.88	359	2614	89.65	75.78	52.04	84.63
	40	44.0	9.00	298	2532	89.28	84.13	56.64	85.40
	90	64.0	9.40	182	1827	67.15	91.10	64.32	87.85
12	20	40.0	8.86	544	3027	104.80	71.06	48.17	78.86
	30	43.5	8.87	252	2213	69.28	80.20	56.88	85.89
	40	52.3	8.93	176	1793	66.95	89.18	60.89	87.14
	90	69.0	9.79	146	1640	63.85	92.55	71.48	88.50
* STD effluent		40°C	5.5-9.0	50	120	-			

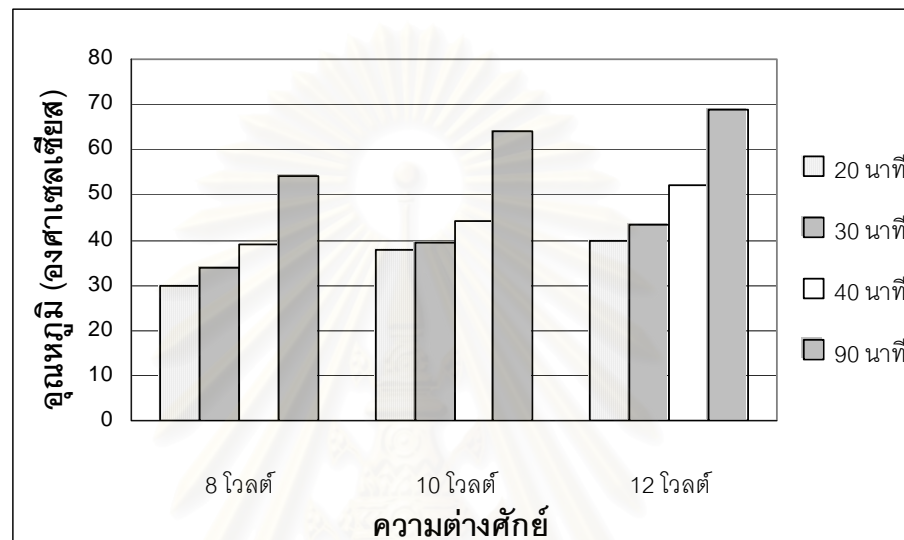
ที่มา : * กรมควบคุมมลพิษ, 2546.

4.3.1 อุณหภูมิ

จากผลการทดลอง พบว่าน้ำเสียที่อุณหภูมิห้อง เมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแล้ว จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่เนื่องจากการปรับค่าความต่างศักย์และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างกัน จึงทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เท่ากันโดยที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิหลังทดลองต่ำที่สุด คือ 30 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับมีค่าน้อย ดังนั้นพลังงานบางส่วนที่ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน (Ampere Loss) จึงมีค่าลดลงตามไปด้วย

(กัณฑ์มาศ สุทธิเรืองวงศ์, 2538) เมื่อเพิ่มความต่างศักย์และเวลาเก็บกักจะทำให้อุณหภูมิน้ำหลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าสูงขึ้น

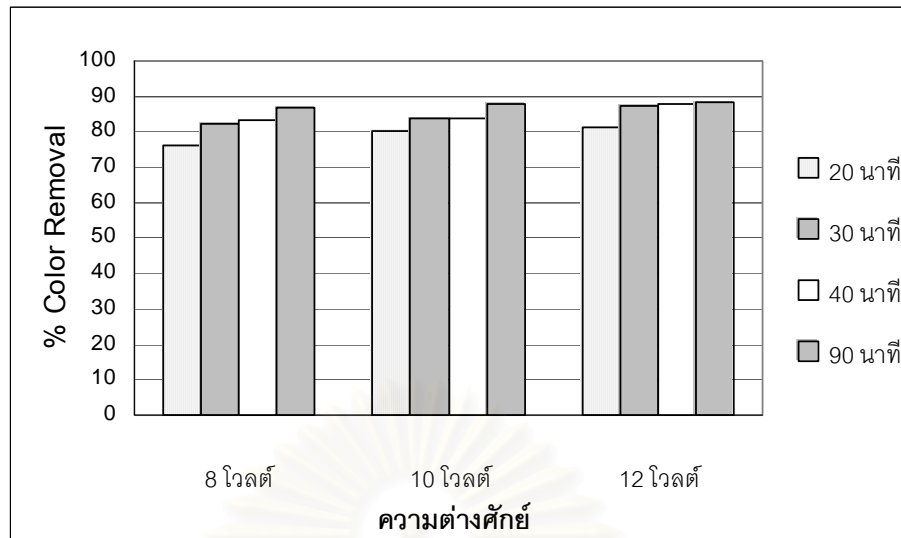
เมื่อเพิ่มเวลาการทดลองเป็น 30, 40 และ 90 นาที พบว่า อุณหภูมิน้ำเสียเพิ่มขึ้นเท่ากับ 34, 39 และ 54 องศาเซลเซียส ซึ่งที่ค่าความต่างศักย์ 10 และ 12 โวลต์ ก็ให้ผลการทดลองในแนวทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.15



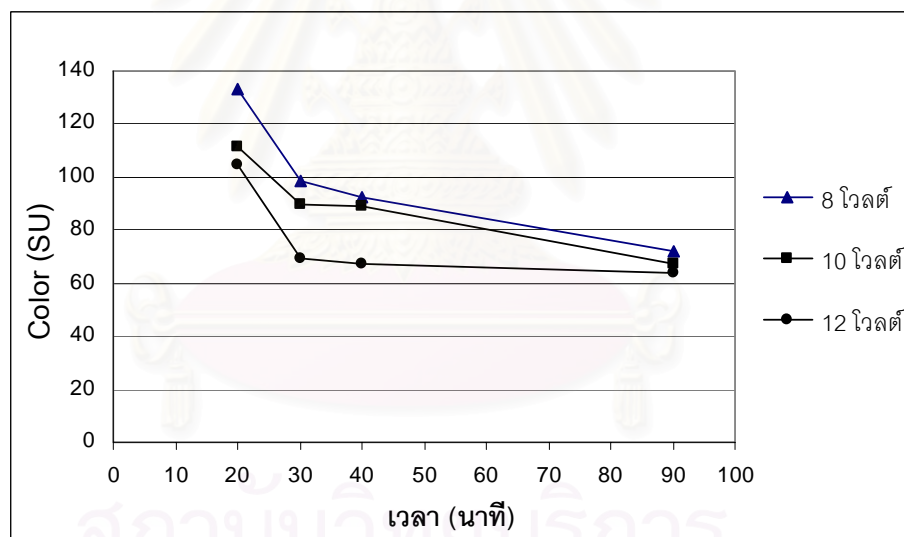
รูปที่ 4.15 อุณหภูมิหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน

4.3.2 สี

น้ำเสียที่ผ่านบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนพบว่าน้ำเสียมีสีดำ มีความขุ่นสูงมาก ความเข้มสีเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 541 SU เมื่อนำมาทดลองโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า พบว่าเมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ ประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มเวลาเก็บกัก ประสิทธิภาพ การกำจัดก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยมีประสิทธิภาพสูงสุด 88.50% ที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 90 นาที ซึ่งน้ำเสียหลังการทดลองมีค่าสีที่เหลือเท่ากับ 63.85 SU ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17 จากการทดลอง พบว่าค่าประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะต่ำกว่าน้ำจากบ่อบ่ม (ซึ่งมีค่า 96.64% และมีสีเหลือ 9.95 SU) และการทดลองที่ความต่างศักย์ต่ำสุดคือ 8 โวลต์ ที่เวลา 20 นาที พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำสุดแต่ก็ยังคงมีค่าสูงถึงร้อยละ 76 และมีความเข้มสีเหลืออยู่ 133 SU ซึ่งคาดว่าเมื่อผ่านการบำบัดขั้นต่อไปก็จะสามารถลดสีให้ต่ำลงได้อีกมาก สีของน้ำหลังการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.18 - 4.20 โดยกลไกในการกำจัดสีเป็นไปตามหัวข้อ 4.2.2



รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.17 สีที่เหลือหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน



1 2 3 4 5

รูปที่ 4.18 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์

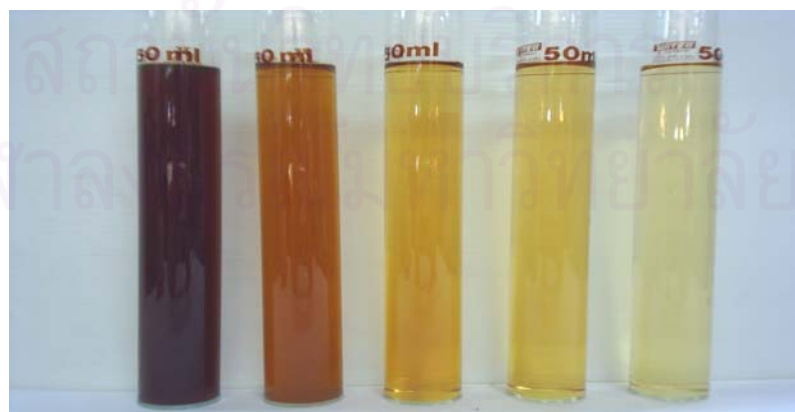
1.น้ำเสียดิบ 2.เวลาเก็บกัก 20นาที 3.เวลาเก็บกัก 30นาที 4.เวลาเก็บกัก 40นาที 5.เวลาเก็บกัก 90นาที



1 2 3 4 5

รูปที่ 4.19 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์

1.น้ำเสียดิบ 2.เวลาเก็บกัก 20นาที 3.เวลาเก็บกัก 30นาที 4.เวลาเก็บกัก 40นาที 5.เวลาเก็บกัก 90นาที



1 2 3 4 5

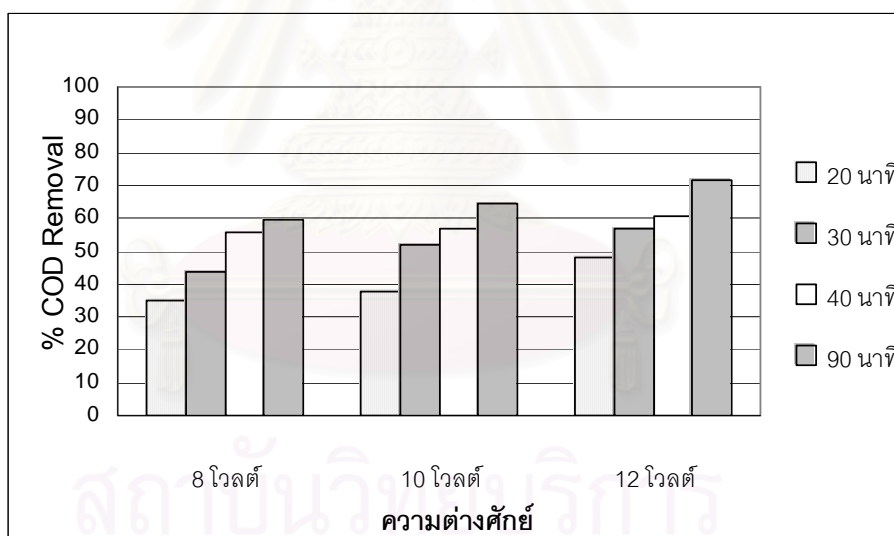
รูปที่ 4.20 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์

1.น้ำเสียดิบ 2.เวลาเก็บกัก 20นาที 3.เวลาเก็บกัก 30นาที 4.เวลาเก็บกัก 40นาที 5.เวลาเก็บกัก 90นาที

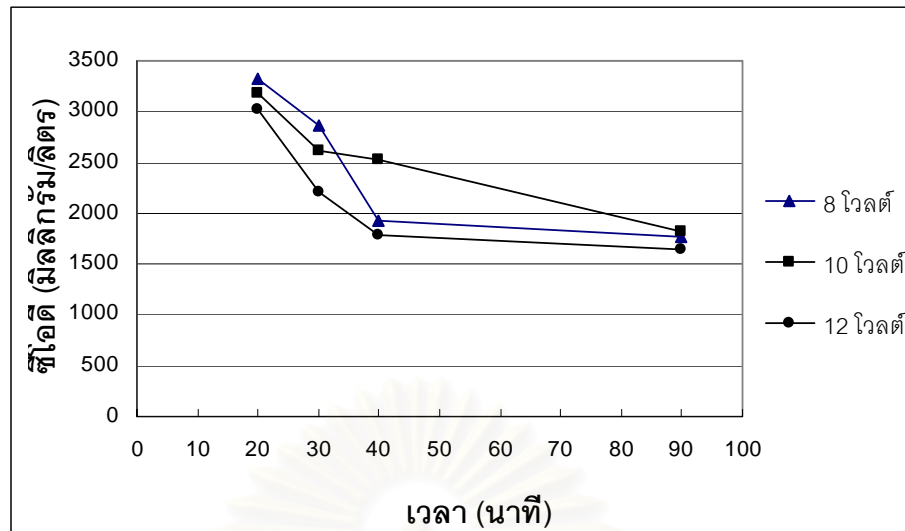
4.3.3 ซีไอดี

น้ำเสียมีค่าซีไอดีเริ่มต้นเฉลี่ยสูงมากเท่ากับ 5,152 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อใช้ค่าความต่างศักย์ต่ำสุดคือ 8 โวลต์ ที่เวลาเก็บกัก 20 นาที พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีค่อนข้างต่ำเท่ากับร้อยละ 35 โดยยังคงมีค่าซีไอดีเหลือในน้ำสูงเท่ากับ 3,330 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วพบว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์และเวลาการทดลองก็จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.21 และ 4.22 ส่วนที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 90 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดคือ 71.48% โดยค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะต่ำกว่าน้ำจากบ่อบ่มซึ่งมีค่า 75%

จากรูปที่ 4.22 จะพบว่าค่าซีไอดีที่เหลือหลังการทดลองที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์ เวลาเก็บกัก 40 และ 90 นาที มีค่าสูงกว่าที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลาเก็บกัก 40 และ 90 นาที ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำเสียเริ่มต้นที่ใช้มีค่าความเข้มข้นของซีไอดีไม่เท่ากัน ที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์ มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นสูงกว่าจึงส่งผลให้เมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแล้วทำให้ยังคงมีค่าซีไอดีที่เหลือมากกว่าได้ ซึ่งกลไกในการกำจัดซีไอดีเป็นไปตามหัวข้อที่ 4.2.3



รูปที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน

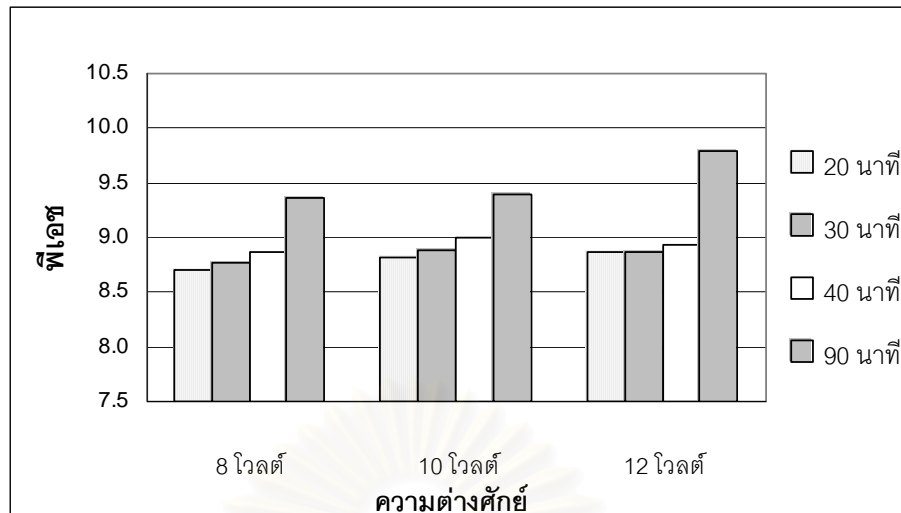


รูปที่ 4.22 ซีไอทีที่เหลือหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน

4.3.4 พีเอช

พีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยในช่วง 8.11 - 8.60 หลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าพบว่า ค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.70 - 9.79 ซึ่งค่าพีเอชหลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะต่ำกว่าบ่อบ่มเนื่องจากค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้น จากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีค่าต่ำกว่าค่าพีเอชหลังการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.23

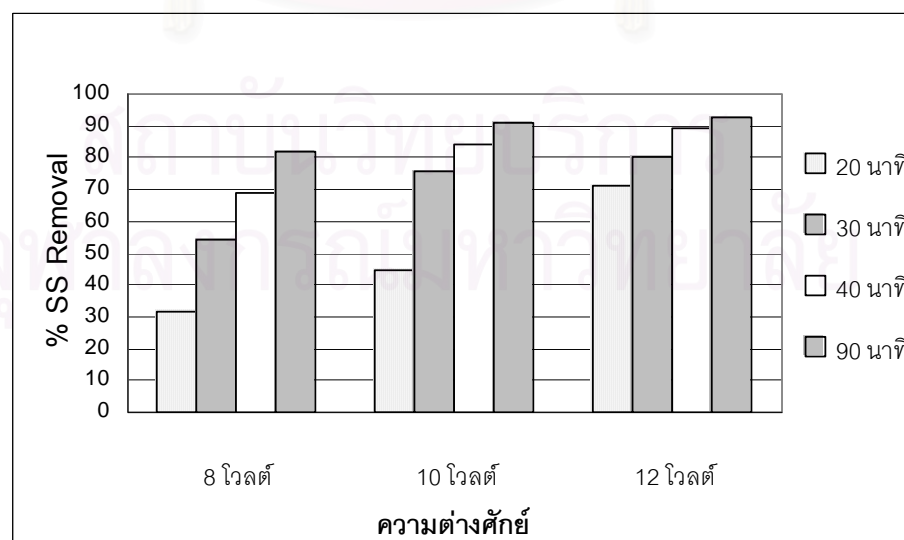
เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ พีเอชจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้าจะมากขึ้นทำให้ขั้วเหล็กสลายออกมามากขึ้น เกิดหมู่ OH^- และจับเป็นตะกอนกับขั้วเหล็กที่สลายออกมากลายเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ และเมื่อเพิ่มเวลาเก็บกักก็จะยิ่งทำให้เกิดตะกอน $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ขึ้นมาในระบบจำนวนมากเช่นกัน เมื่อเพิ่มความต่างศักย์และเวลาเก็บกักจึงทำให้พีเอชเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าพีเอชหลังทดลองมีค่าสูงเกินไปจะไม่ดีเนื่องจากจะเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (พีเอช 5.5 - 9.0) ดังนั้นจะได้ค่าที่เหมาะสมคือ ที่ความต่างศักย์ 8 - 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 - 40 นาที



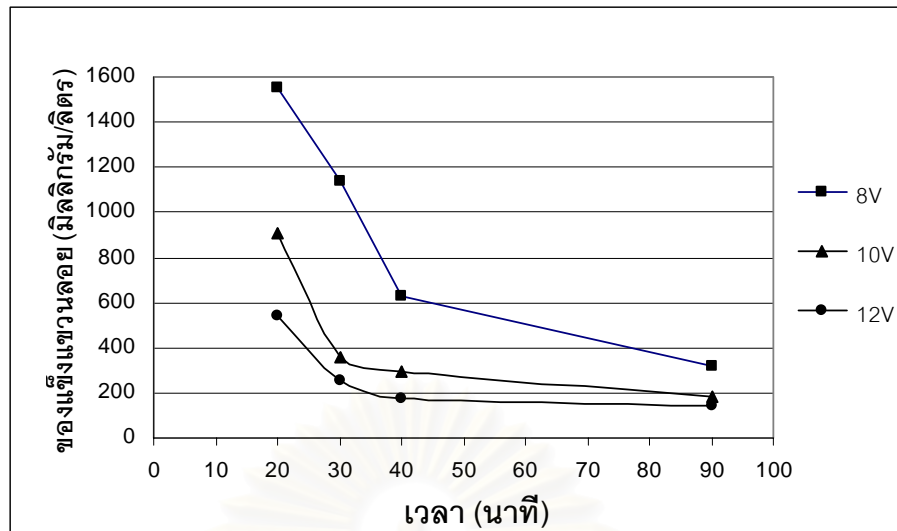
รูปที่ 4.23 พีเอชหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน

4.3.5 ของแข็งแขวนลอย

น้ำเสียเริ่มต้นจะมีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 1,862 มิลลิกรัม/ลิตร และมีความหนืดสูง จึงมีลักษณะการกรองผ่านกระดาษ GF/C ได้ยาก เมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแล้ว พบว่าจะเกิดของแข็งแขวนลอยที่สามารถกรองผ่านกระดาษ GF/C ได้ง่ายขึ้น โดยปริมาณสารแขวนลอยนี้จะมีค่าลดลง เมื่อค่าความต่างศักย์และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยามากขึ้นเนื่องจากสามารถจับตัวเป็นฟล็อกและตกตะกอนได้ดีขึ้น ค่าของแข็งแขวนลอยต่ำที่สุดที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 90 นาที และค่าของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าน้ำจากบ่อปอม ของแข็งแขวนลอย หลังการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.24 และ 4.25



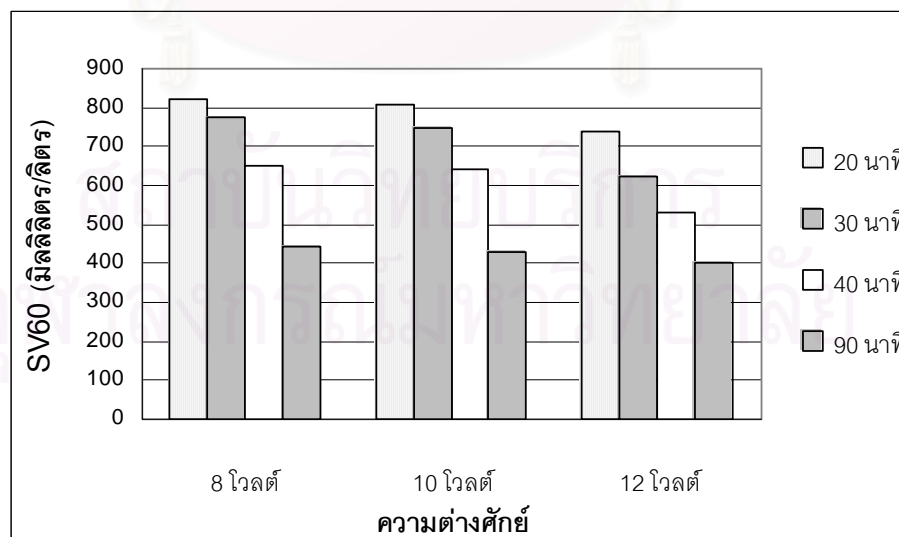
รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.25 ของแข็งแขวนลอยที่เหลือหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน

4.3.6 SV60

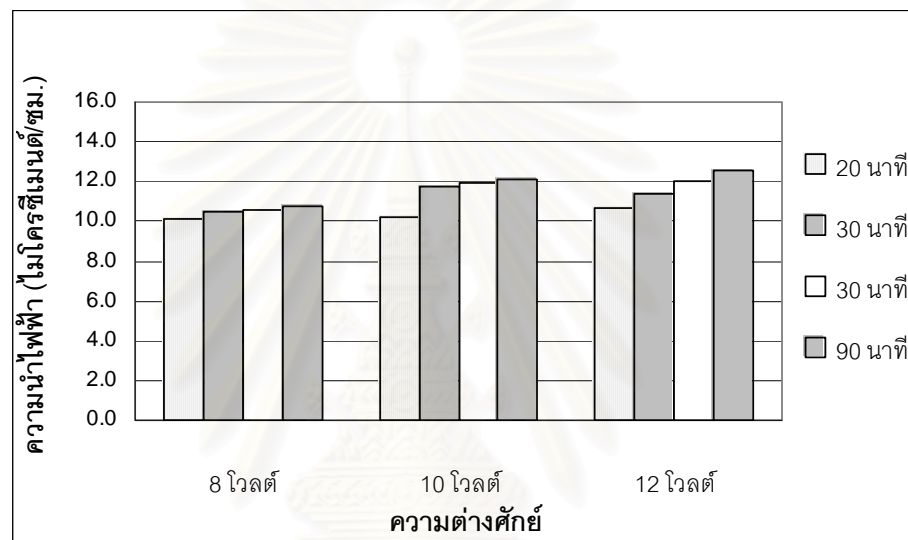
จากการทดลองพบว่า เมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้น ค่า SV60 จะลดลงเนื่องจากตะกอนจับตัวกันแน่นขึ้น แต่ตะกอนก็เกิดมากเช่นกัน โดยมีค่า SV60 ในช่วง 400 - 820 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีต่ำกว่าน้ำจากบ่อบ่ม เนื่องจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจนนี้มีค่าซีโอดีสูงกว่า ให้ปริมาณสลัดจ์มากกว่า และจมตัวดีกว่าจึงทำให้ค่า SV60 ต่ำกว่า และเมื่อเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้น ค่า SV60 ก็ลดลงเช่นกัน จะได้เวลาเก็บกักที่เหมาะสมคือ 90 นาที ปริมาณ SV60 หลังทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 SV60 ของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน

4.3.7 ความนำไฟฟ้า

น้ำเสียก่อนการทดลองมีค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยเป็น $10.65 \mu\text{S/cm}$ แต่หลังจากผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า พบว่า ค่าความนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากหลังจากผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะเกิดปริมาณอิออนเพิ่มขึ้นมากกว่าปริมาณอิออนที่ใช้ทำปฏิกิริยาเนื่องจากปริมาณอิออนมีผลต่อค่าความนำไฟฟ้า คือถ้าปริมาณอิออนมีค่าลดลง ค่าความนำไฟฟ้าก็จะลดลงตามไปด้วย (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2545) อยู่ในช่วง 10.11 ถึง $12.59 \mu\text{S/cm}$ ซึ่งค่าความนำไฟฟ้านี้จะมีค่าต่ำกว่าน้ำจากบ่อบ่มเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ค่าความนำไฟฟ้าหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน

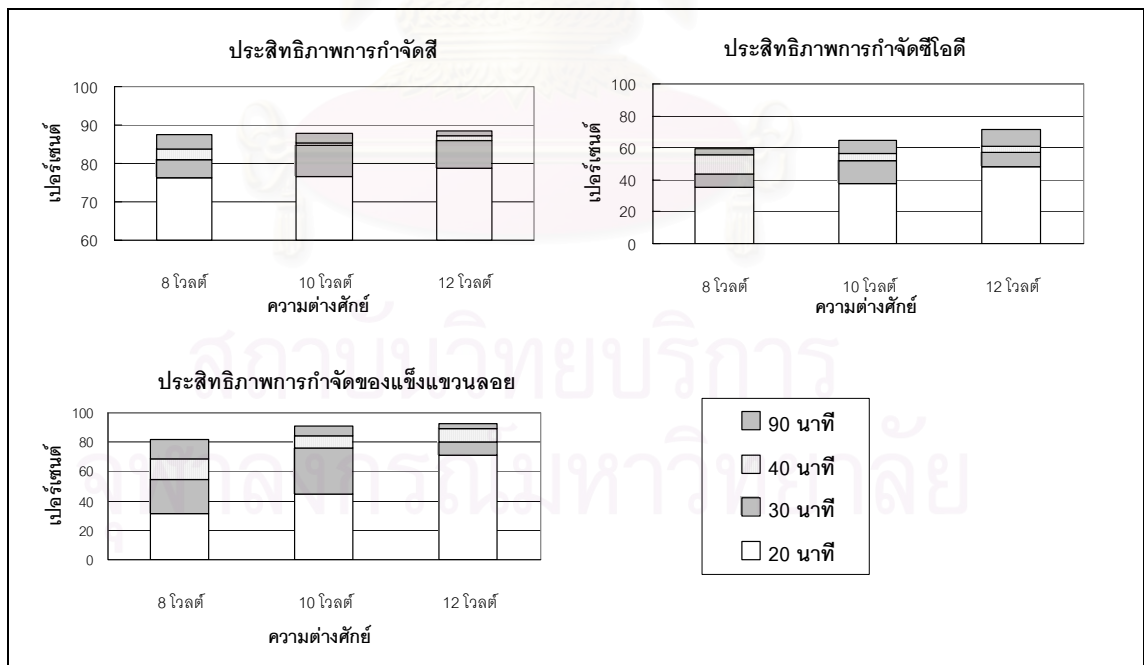
4.3.8 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

จากตารางที่ 4.5 ซึ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด และจากรูปที่ 4.28 พบว่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดคือที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 30 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดดี คือ 87.51% ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 56.79% แม้ว่าอุณหภูมิจะเกินค่ามาตรฐาน (40 องศาเซลเซียส) แต่ก็เกินเพียงเล็กน้อยเพราะอุณหภูมิที่ได้ คือ 43.5 องศาเซลเซียส

ที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 90 นาที แม้จะมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดแต่น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะมีอุณหภูมิสูงเกินไป เช่นเดียวกับที่ความต่างศักย์ 8, 10 และ 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 90 นาที ก็มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ แต่ก็ต้องพิจารณาค่าใช้จ่ายอีกครั้งในหัวข้อ 4.4

ตารางที่ 4.5 การเพิ่มขึ้นของค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีไอดีของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้
ออกซิเจน

ความ ต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพใน การกำจัดสี (%)	การเพิ่มขึ้น ของ ประสิทธิภาพ ในการกำจัดสี (%)	ประสิทธิภาพใน การกำจัดซีไอดี (%)	การเพิ่มขึ้น ของ ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีไอดี(%)	ประสิทธิภาพ ของแข็ง แขวนลอย (%)	การเพิ่มขึ้นของ ประสิทธิภาพใน การกำจัด ของแข็ง แขวนลอย(%)
8	20	76.13	-	34.99	-	31.66	-
	30	80.85	4.72	43.96	8.97	54.27	22.61
	40	83.63	2.78	55.80	11.84	68.72	14.45
	90	87.38	3.75	59.46	3.66	81.90	13.18
10	20	76.59	-	37.82	-	44.92	-
	30	84.63	8.04	52.04	14.22	75.78	30.86
	40	85.40	0.77	56.64	4.6	84.13	8.35
	90	87.85	2.45	64.32	7.68	91.10	6.97
12	20	78.86	-	48.17	-	71.06	-
	30	85.89	7.03	56.88	8.71	80.20	9.14
	40	87.14	1.25	60.89	4.01	89.18	8.98
	90	88.50	1.36	71.48	10.59	92.55	3.37



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีไอดีของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้
ออกซิเจน

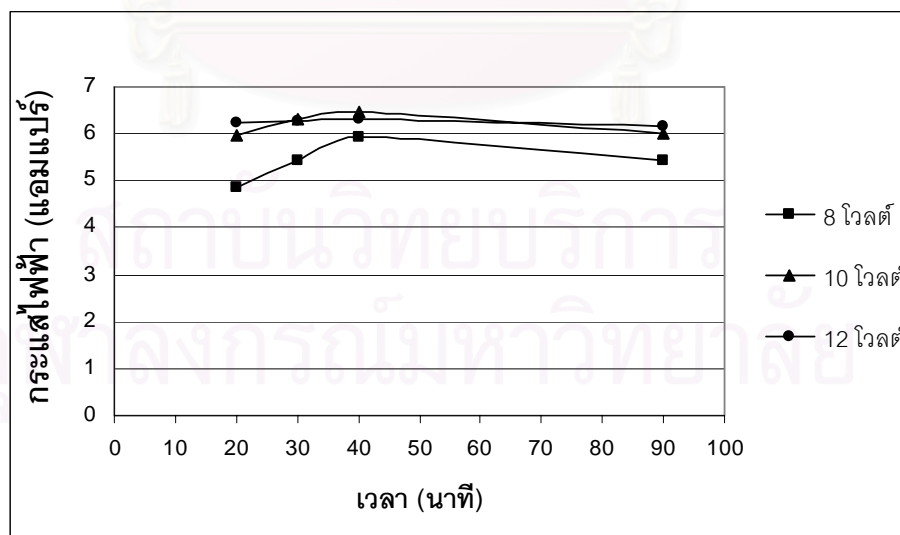
4.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการเบื้องต้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามาบำบัดน้ำเสียจากโรงงานปาล์มน้ำมัน ซึ่งน้ำหลังผ่านการบำบัดยังคงมีสีอยู่สูงมาก ทำให้ไม่สามารถทิ้งลงสู่แหล่งน้ำได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงพิจารณาค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของระบบเท่านั้น ได้แก่ ค่าขั้วไฟฟ้า(เหล็ก) และค่ากระแสไฟฟ้า ซึ่งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้ความต่างศักย์และเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้น โดยค่าใช้จ่ายที่คำนวณนี้อ้างอิงการทดลอง โดยให้น้ำเสียที่ใช้มีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.6

4.4.1 ค่ากระแสไฟฟ้า

1) น้ำเสียจากบ่อปม

การทดลองนี้จะใช้ค่าความต่างศักย์คงที่ คือ 8, 10 และ 12 โวลต์ พบว่าหลังจากผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเป็นเวลา 20, 30, 40 และ 90 นาทีแล้ว ค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ค่ากระแสไฟฟ้าจะแปรตรงกับค่าความนำไฟฟ้าและแปรผกผันกับค่าความต้านทานไฟฟ้า ดังสมการ $V = IR$ ดังนั้น เมื่อค่าความต้านทานต่ำ ค่ากระแสไฟฟ้าจะสูงขึ้นและค่าความนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ที่เวลาเก็บกัก 90 นาที ค่ากระแสไฟฟ้าจะลดลง เนื่องจากจะเกิดฟิล์มเคลือบที่ผิวของโลหะ กระแสไฟฟ้าจึงผ่านได้น้อยลง กระแสไฟฟ้าที่ใช้หลังการทดลอง ดังรูปที่ 4.29

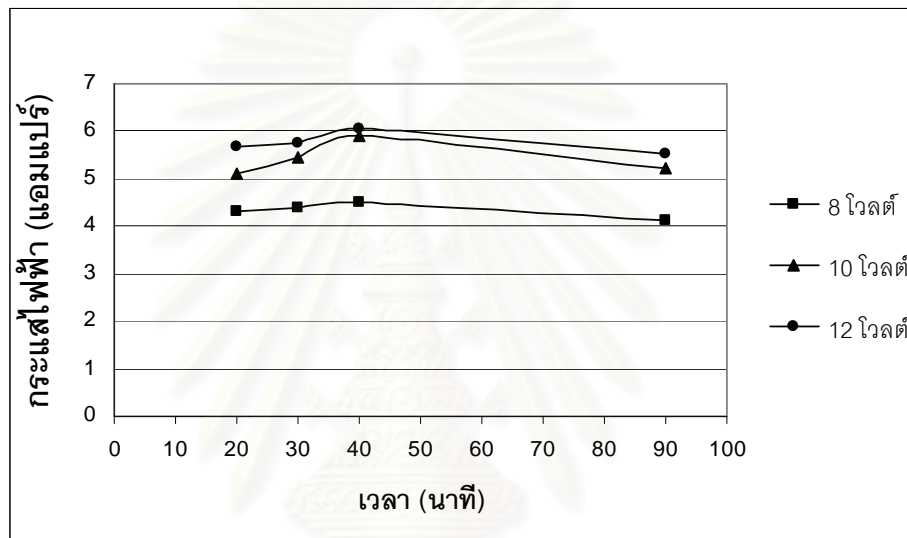


รูปที่ 4.29 กระแสไฟฟ้าหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อปม

เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน

2) น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การทดลองนี้จะใช้ค่าความต่างศักย์คงที่ คือ 8, 10 และ 12 โวลต์ พบว่าหลังจากผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเป็นเวลา 20, 30, 40 และ 90 นาทีแล้ว ค่ากระแสไฟฟ้าหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะต่ำกว่าน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบใช้ออกซิเจน เนื่องจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีค่าความนำไฟฟ้าต่ำกว่า จากสมการ $V = IR$ ดังนั้น เมื่อความนำไฟฟ้าต่ำ ค่าความต้านทานจะสูง ค่ากระแสไฟฟ้าจึงมีค่าต่ำไปด้วย โดยกระแสไฟฟ้าที่ใช้หลังการทดลองดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 กระแสไฟฟ้าหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน

4.4.2 ค่าขั้วไฟฟ้า(เหล็ก)

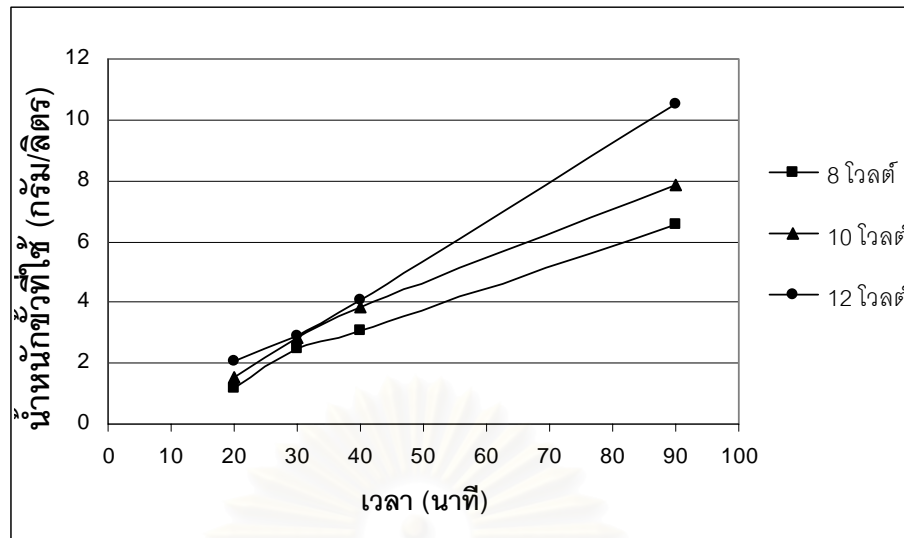
1) น้ำเสียจากบ่อบำบัด

น้ำหนักของขั้วไฟฟ้าจะลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้มีการหลุดออกของอิออนโลหะที่ขั้วบวก น้ำหนักขั้วเหล็กจะลดลงมากเมื่อความต่างศักย์และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ปริมาณเหล็กที่ใช้ดังรูปที่ 4.31 โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลามีค่าลดลงเป็นเชิงเส้น ดังสมการที่ค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กันดังนี้

$$8 \text{ โวลต์: } y = 0.0736x - 0.0033 \quad R^2 = 0.9890$$

$$10 \text{ โวลต์: } y = 0.0875x + 0.0833 \quad R^2 = 0.9921$$

$$12 \text{ โวลต์: } y = 0.1236x - 0.6547 \quad R^2 = 0.9970$$



รูปที่ 4.31 ปริมาณไอน้ำที่สลายไปหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อบ่ม เมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน

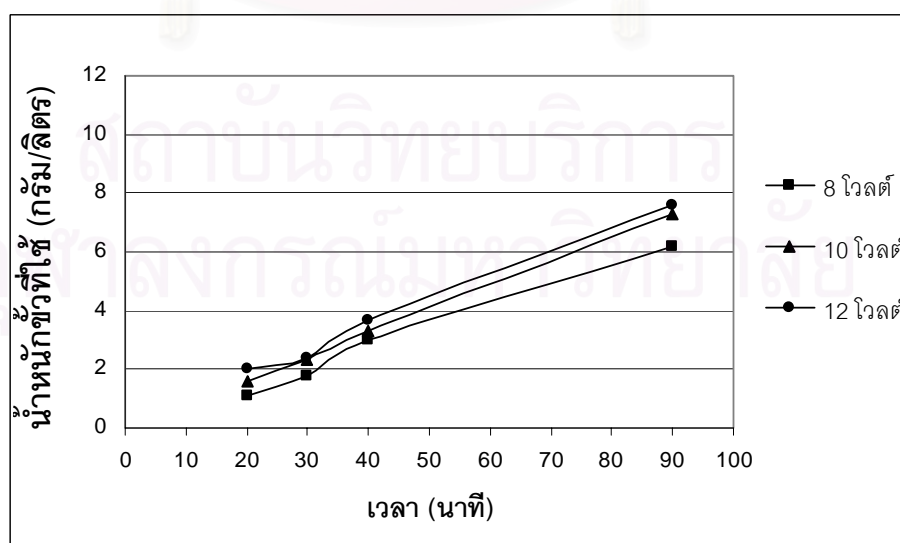
2) น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ปริมาณไอน้ำที่สลายไปหลังทดลอง ของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจนจะต่ำกว่าน้ำเสียจากบ่อบ่ม ปริมาณเหล็กที่ใช้ดังรูปที่ 4.32 โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลามีค่าลดลงเป็นเชิงเส้น ดังสมการที่ค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ กันดังนี้

$$8 \text{ โวลต์: } y = 0.0726x - 0.2524 \quad R^2 = 0.9903$$

$$10 \text{ โวลต์: } y = 0.0819x - 0.0491 \quad R^2 = 0.9991$$

$$12 \text{ โวลต์: } y = 0.0813x + 0.2681 \quad R^2 = 0.9922$$



รูปที่ 4.32 ปริมาณไอน้ำที่สลายไปหลังทดลองของการบำบัดน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน

ค่าใช้จ่ายในการใช้ระบบบำบัดแบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าของการทดลองนี้แสดงดัง
ตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าใช้จ่ายของระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าของน้ำเสียจากบ่อป๋มและน้ำเสียจากบ่อ
บำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

พารามิเตอร์		ค่าใช้จ่าย (บาท/ลบ.ม.)		
ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลาเก็บกัก (นาที)	ค่าขั้วไฟฟ้า (บ./ลบ.ม.)	ค่าไฟฟ้า (บ./ลบ.ม.)	ราคารวม (บ./ลบ.ม.)
การทดลองที่ 1 น้ำเสียจากบ่อป๋ม				
8	20	29.59	35.62	65.21
	30	62.34	59.71	122.05
	40	77.56	86.81	164.37
	90	166.11	179.13	345.24
10	20	39.10	43.77	82.87
	30	71.85	69.41	141.26
	40	97.42	94.74	192.17
	90	199.50	198.96	398.46
12	20	52.83	45.83	98.66
	30	73.33	69.07	142.41
	40	104.19	92.54	196.73
	90	267.34	202.93	470.26
การทดลองที่ 2 น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน				
8	20	27.68	31.80	59.49
	30	45.01	48.47	93.49
	40	75.66	66.39	142.05
	90	157.44	136.83	294.27
10	20	40.36	37.60	77.97
	30	58.96	59.82	118.78
	40	84.32	86.66	170.99
	90	185.34	172.19	357.53
12	20	51.57	41.79	93.36
	30	60.65	63.24	123.89
	40	93.83	88.72	182.55
	90	192.10	182.11	374.21

ค่ากระแสไฟฟ้าและค่าขั้วไฟฟ้า แสดงรายการคำนวณในภาคผนวก ข.

4.4.3 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ระบบบำบัดแบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เป็นระบบบำบัดที่สามารถกำจัดสีและซีไอได้ดีได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง แต่เนื่องจากน้ำเสียเริ่มต้นมีค่าสีและซีไอสูงมากจึงทำให้น้ำเสียหลังการบำบัดยังมีค่าสีและซีไอเกินค่ามาตรฐานจึงไม่สามารถทิ้งน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ โดย

1) น้ำเสียจากบ่อป่่ม

น้ำเสียจากบ่อป่่มเมื่อนำมาบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า พบว่าค่าซีไอดียังเกินค่ามาตรฐาน แต่สามารถกำจัดสีได้ดี ส่วนค่าใช้จ่ายจะสูงกว่าน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2) น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อนำมาบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าพบว่าค่าซีไอดี สี และของแข็งแขวนลอยยังเกินค่ามาตรฐาน และน้ำที่ผ่านระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ ค่าอัตราส่วนบีไอดีต่อซีไอดีต่ำ ซึ่งแสดงว่าน้ำเสียมีสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากมาก แต่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าพบว่าค่าอัตราส่วนบีไอดีต่อซีไอดีเพิ่มสูงขึ้น จึงน่าจะสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีขึ้น หรือซีไอดีที่ย่อยสลายยากอาจจะเปลี่ยนเป็นตะกอน ทำให้ค่าอัตราส่วนบีไอดีต่อซีไอดีเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน และในน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ยังมีธาตุอาหารที่จำเป็นคือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสอยู่ด้วย

ดังนั้น น้ำเสียจากบ่อป่่มจึงสามารถบำบัดขั้นสุดท้ายด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าได้ โดยจะกำจัดสีได้ดีแต่กำจัดซีไอดีได้บางส่วน ส่วนน้ำจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแล้วสามารถนำไปบำบัดต่อด้วยระบบทางชีววิทยา ซึ่งได้ทำการทดลองทดลองแสดงผลในหัวข้อ 4.5 และได้เลือกใช้ที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 นาที เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดและค่าใช้จ่าย ดังตารางที่ 4.7

น้ำเสียจากบ่อบ่ม

การเพิ่มความต่างศักย์ (8 เป็น 10 โวลต์) เวลา 20 นาที จากตารางที่ 4.8 ทำให้ค่าเหล็กเพิ่มขึ้น 9.51 บาท ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 8.15 บาท รวมเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น 17.66 บาท

การเพิ่มเวลา (20 เป็น 30 นาที) ความต่างศักย์ 8 โวลต์ จากตารางที่ 4.9 ทำให้ค่าเหล็กเพิ่มขึ้น 32.75 บาท ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 24.09 บาท รวมเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น 56.84 บาท

น้ำเสียจากบ่อนำบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การเพิ่มความต่างศักย์ (8 เป็น 10 โวลต์) เวลา 20 นาที จากตารางที่ 4.8 ทำให้ค่าเหล็กเพิ่มขึ้น 12.68 บาท ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 5.8 บาท รวมเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น 18.48 บาท

การเพิ่มเวลา (20 เป็น 30 นาที) ความต่างศักย์ 8 โวลต์ จากตารางที่ 4.9 ทำให้ค่าเหล็กเพิ่มขึ้น 17.33 บาท ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 16.67 บาท รวมเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น 34.0 บาท

จาก ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ ปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านลงไปสารละลายของเซลล์อิเล็กโทรไลต์ เพื่อให้อิเล็กตรอน 1 โมล ทำปฏิกิริยารีดอกซ์

$$1 \text{ F (Faraday)} = 96487 \text{ C mol}^{-1} \text{ (C = coulomb)}$$

จะได้
$$X \text{ coulomb} = I \text{ (ampere)} * t \text{ (second)}$$

และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลไปในวงจรได้ จะมีค่าเท่ากับ ผลคูณของ กระแสไฟฟ้า และความต้านทานกระแสไฟฟ้า ดังสมการ

$$V = I * R$$

การเพิ่มเวลาจึงเป็นการจ่ายกระแสให้กับวงจรนานขึ้นในปริมาณเท่าเดิม แต่การเพิ่มความต่างศักย์จะเป็นการเพิ่มปริมาณความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ออกมา ทำให้โลหะละลายออกมาได้มากขึ้น ค่าไฟฟ้าจึงน้อยกว่าการเพิ่มเวลา

ดังนั้นการเพิ่มเวลาทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นกว่าการเพิ่มความต่างศักย์ จึงควรเพิ่มค่าความต่างศักย์มากกว่าเพิ่มเวลาเวลาเก็บกัก

เนื่องจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เองจึงสามารถลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่ากระแสไฟฟ้าได้ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียขึ้นกับค่าชั่วโมงไฟฟ้า(เหล็ก) เท่านั้น ดังตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด และค่าใช้จ่าย

ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพการกำจัด(%)			ความเข้มข้นที่เหลือ(มก./ล.)			ค่าใช้จ่าย (บาท/ลบ.ม.X)
		สี	COD	SS	สีเฉลี่ย	CODเฉลี่ย	SSเฉลี่ย	
การทดลองที่ 1 น้ำเสียจากบ่อบ่ม								
8	20	86.79	47.52	49.15	37.10	1127	149	65.21
10		89.43	50.00	54.48	29.70	1320	132	82.87
12		89.58	50.66	55.07	29.28	1066	124	98.66
8	30	91.26	48.15	50.78	22.80	1120	126	122.05
10		91.77	51.48	62.58	21.48	1233	122	141.26
12		92.45	55.51	66.77	19.70	961	108	142.41
การทดลองที่ 2 น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน								
8	20	76.13	34.99	31.66	133.25	3330	1554	59.49
10		76.59	37.82	44.92	111.20	3187	910	77.97
12		78.86	48.17	71.06	104.80	3027	544	93.36
8	30	80.85	43.96	54.27	98.70	2867	1140	93.49
10		84.63	52.04	75.78	89.65	2614	359	118.78
12		85.89	56.88	80.20	69.28	2213	252	123.89

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ เวลาเก็บกักคองที่

ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ค่าเหล็ก (บาท/ลบ.ม.)	ผลต่าง (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท/ลบ.ม.)	ผลต่าง (บาท)
การทดลองที่ 1 น้ำเสียจากบ่อบ่ม					
8	20	29.59	-	35.62	-
10		39.1	9.51	43.77	8.15
12		52.83	13.73	45.83	2.06
8	30	62.34	-	59.71	-
10		71.85	9.51	69.41	9.70
12		73.33	1.48	69.07	-0.34
การทดลองที่ 2 น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน					
8	20	27.68	-	31.80	-
10		40.36	12.68	37.60	5.80
12		51.57	11.21	41.79	4.19
8	30	45.01	-	48.47	-
10		58.96	13.95	59.82	11.35
12		60.65	1.69	63.24	3.42

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเมื่อเพิ่มเวลาเก็บกัก ความต่างศักย์คงที่

เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	ค่าเหล็ก (บาท/ลบ.ม.)	ผลต่าง (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท/ลบ.ม.)	ผลต่าง (บาท)
การทดลองที่ 1 น้ำเสียจากบ่อป๋ม					
20	8	29.59	-	35.62	-
30		62.34	32.75	59.71	24.09
40		77.56	15.22	86.81	27.10
20	10	39.1	-	43.77	-
30		71.85	32.75	69.41	25.64
40		97.42	25.57	94.74	25.33
การทดลองที่ 2 น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน					
20	8	27.68	-	31.80	-
30		45.01	17.33	48.47	16.67
40		75.66	30.65	66.39	17.92
20	10	40.36	-	37.60	-
30		58.96	18.6	59.82	22.22
40		84.32	25.36	86.66	26.84

4.5 การทดลองที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทางชีววิทยาของน้ำเสียที่ผ่านบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่าน และไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีววิทยา ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแล้ว ซึ่งการทดลองจะศึกษาเปรียบเทียบระหว่างน้ำจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่าน และไม่ผ่านการทดลองกระบวนการด้วยไฟฟ้า ดังมีรายละเอียดการศึกษา ดังนี้

4.5.1 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบนี้เป็นน้ำจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน และน้ำจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 นาที มีลักษณะดังตารางที่ 4 .8 ในการทดลองโดยกำหนดให้ค่าภาระบีโอดีเท่ากับ 150 มิลลิกรัม/วัน (น้ำเสีย 0.5 ลิตร/วัน ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัม/ลิตร) พีเอชของระบบอยู่ในช่วง 7.0 - 7.5 ปริมาณออกซิเจน 5.8 - 7 มิลลิกรัม/ลิตร

เนื่องจากการทดลองได้มีการกำหนดค่าภาระบีโอดีเท่ากับ 150 มิลลิกรัม/วัน และจากการทดลองพบว่าน้ำจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ไม่ผ่านการทดลองกระบวนการด้วยไฟฟ้าได้ค่าบีโอดีไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งจึงได้ทดลองลดค่าภาระบีโอดีลงมา เพื่อให้ น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง (20 มิลลิกรัม/ลิตร) จึงได้ค่าภาระบีโอดีของบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ไม่ผ่านการทดลองกระบวนการด้วยไฟฟ้า 2 ค่า คือ 150 และ 100 มิลลิกรัม/วัน

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

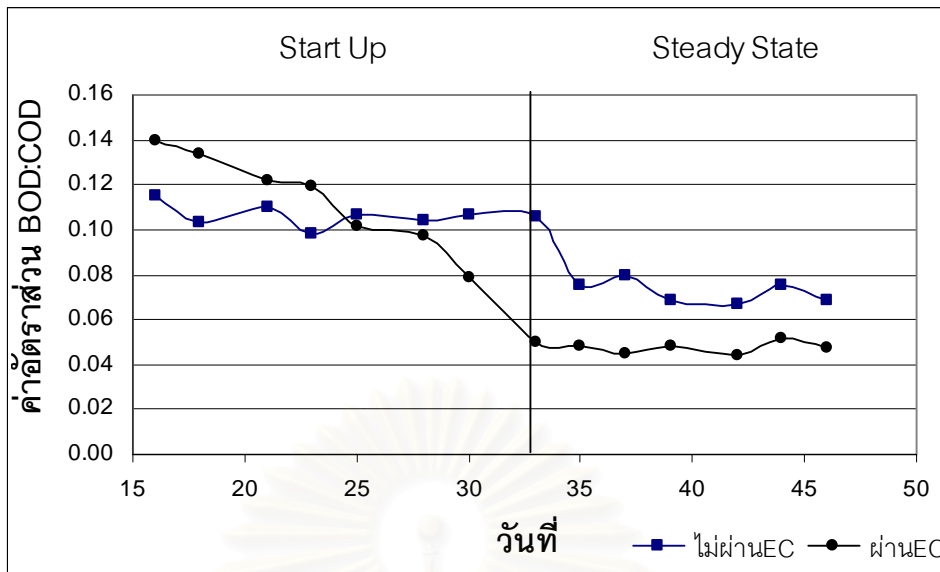
พารามิเตอร์	น้ำไม่ผ่านEC	SD	น้ำผ่านEC	SD
pH	8.25	0.12	8.93	0.10
BOD (มก./ล.)	462.64	106.57	289.8	24.80
COD (มก./ล.)	4,895.8	593.62	2,497.5	447.46
BOD/COD	0.09	0.03	0.12	0.02

หมายเหตุ ข้อมูลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียจำนวน 7 ตัวอย่าง

ค่าอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดี (BOD:COD) ของน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 เมื่อนำมาผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.12

จากการทดลองพบว่าค่าอัตราส่วน BOD:COD มีการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.33 โดยน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไร้อากาศที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เดิมมีอัตราส่วน BOD:COD เท่ากับ 0.09 เมื่อนำมาผ่านกระบวนการทางชีวภาพจะมีอัตราส่วน BOD:COD เริ่มต้นเท่ากับ 0.11 และลดลงเรื่อยๆ จนคงที่ที่อัตราส่วนเท่ากับ 0.05 ส่วนน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เดิมมีอัตราส่วน BOD:COD เท่ากับ 0.12 ซึ่งมีค่ามากกว่าที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า แสดงว่าเมื่อนำมาผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า อาจจะทำให้สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากทางชีวภาพเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายขึ้น หรืออาจเนื่องมาจากซีโอดีซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากเปลี่ยนเป็นตะกอน ทำให้ค่าอัตราส่วน BOD:COD เพิ่มขึ้นได้เช่นกัน

เมื่อนำมาผ่านกระบวนการทางชีวภาพจะมีอัตราส่วน BOD:COD เริ่มต้นเท่ากับ 0.14 และลดลงเรื่อยๆ จนคงที่ที่อัตราส่วนเท่ากับ 0.05 ซึ่งมีค่าเท่ากับน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ถึงแม้ว่าอัตราส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกันแต่จะพบว่าค่าซีโอดี และบีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะมีค่าซีโอดี และบีโอดีต่ำกว่า



รูปที่ 4.33 อัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำเสีย

4.5.2 การ Start-Up ระบบ

นำเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา โดยนำมาเลี้ยงปริมาณ 3 ลิตร ในถังปฏิกรณ์ขนาด 6 ลิตร 2 ถัง โดยแต่ละถังเติมน้ำเสียแตกต่างกัน 2 ชนิด คือ

ถังที่ 1 : น้ำจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

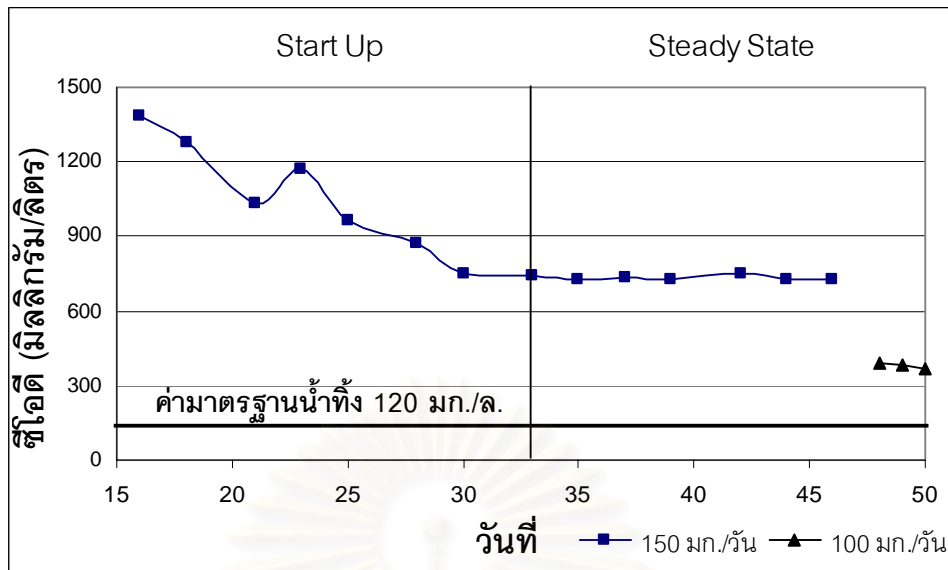
ถังที่ 2 : น้ำจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

การเริ่มเดินระบบโดยเติมน้ำเสียในแต่ละถังลงไปเพิ่มขึ้นวันละ 10% ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 สัปดาห์ โดยตรวจสอบค่า MLSS ให้คงที่อยู่ที่ประมาณ 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร

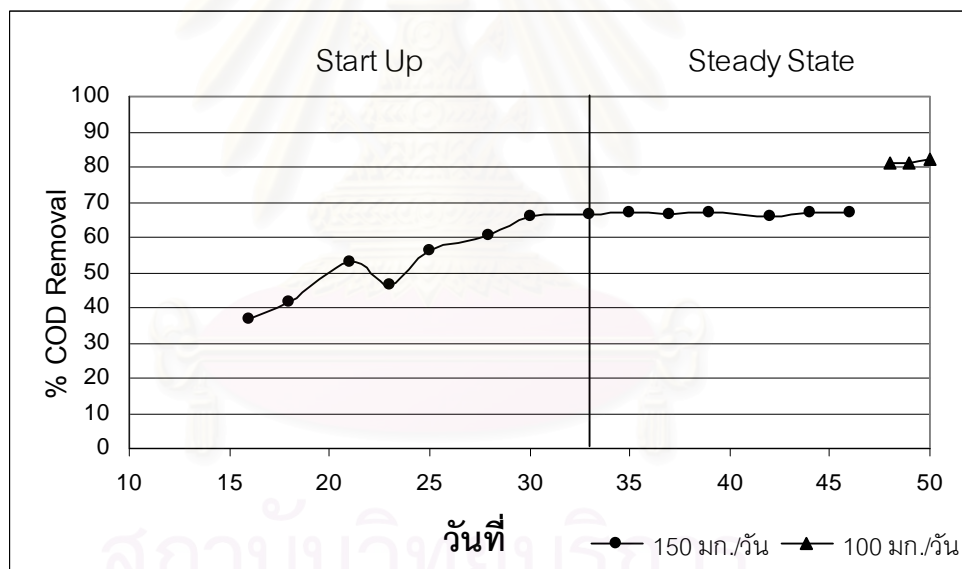
4.5.3 น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

1) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

เมื่อเดินระบบแล้วระบบเข้าสู่สมดุลในวันที่ 33 น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 66.36% หลังระบบเข้าสู่สมดุลน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 730 มิลลิกรัม/ลิตร และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 66.82 % (ที่ OLR=100 มิลลิกรัม/วัน มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 365 มิลลิกรัม/ลิตร และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 82.06 %) ดังรูปที่ 4.34 และ 4.35



รูปที่ 4.34 ซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน

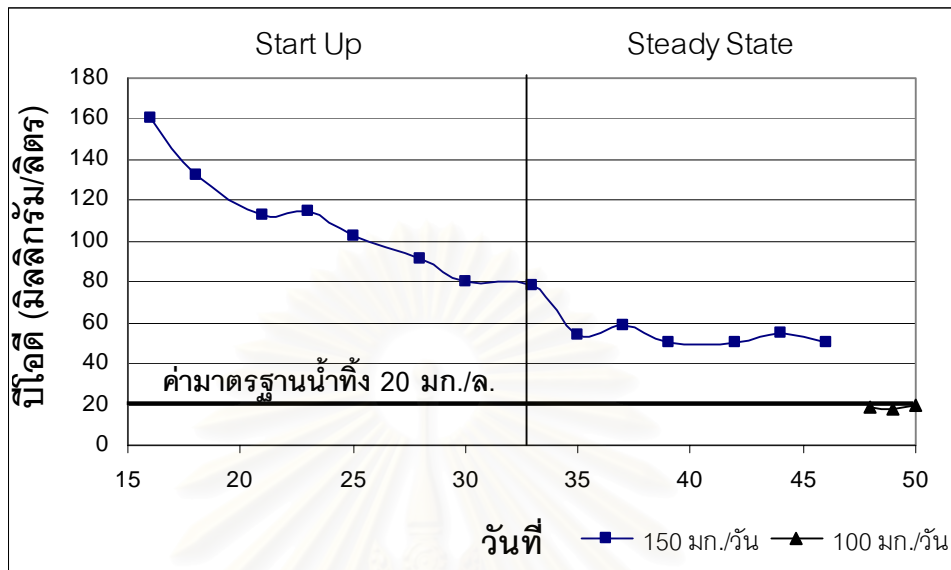


รูปที่ 4.35 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน

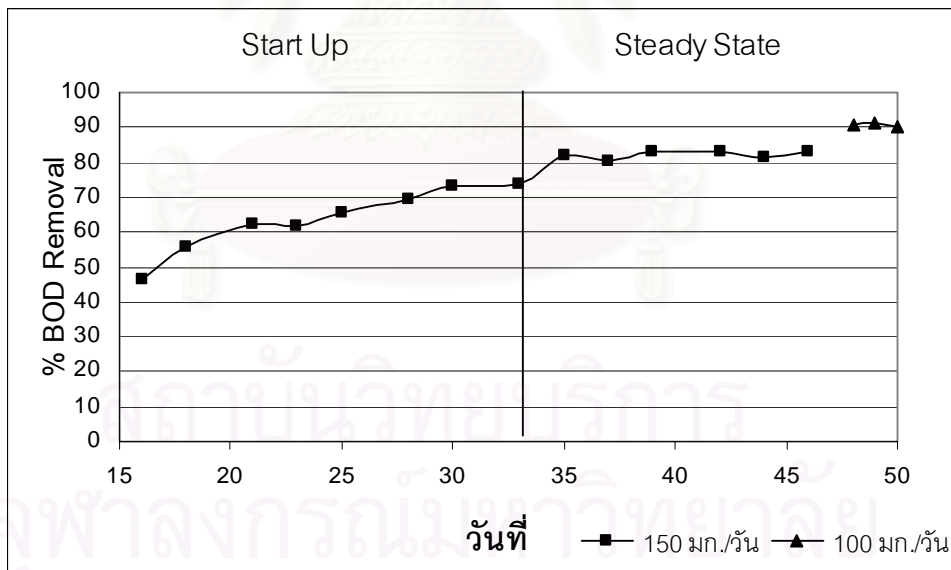
2) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี

เมื่อเดินระบบแล้วระบบเข้าสู่สมดุล น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี 74% หลังระบบเข้าสู่สมดุล น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีค่าบีโอดีเฉลี่ย 50 มิลลิกรัม/ลิตร และประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี

83.33% (ที่ OLR=100 มิลลิกรัม/วัน มีค่าบีโอดีเฉลี่ย 20 มิลลิกรัม/ลิตร และประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี 90.00%) ดังรูปที่ 4.36 และ 4.37



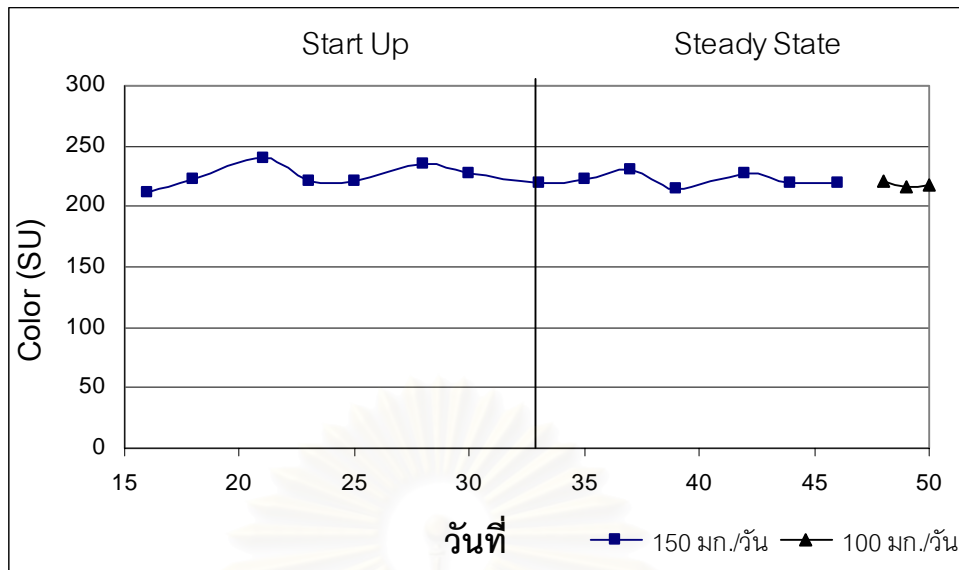
รูปที่ 4.36 บีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน



รูปที่ 4.37 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน

3) ประสิทธิภาพการกำจัด

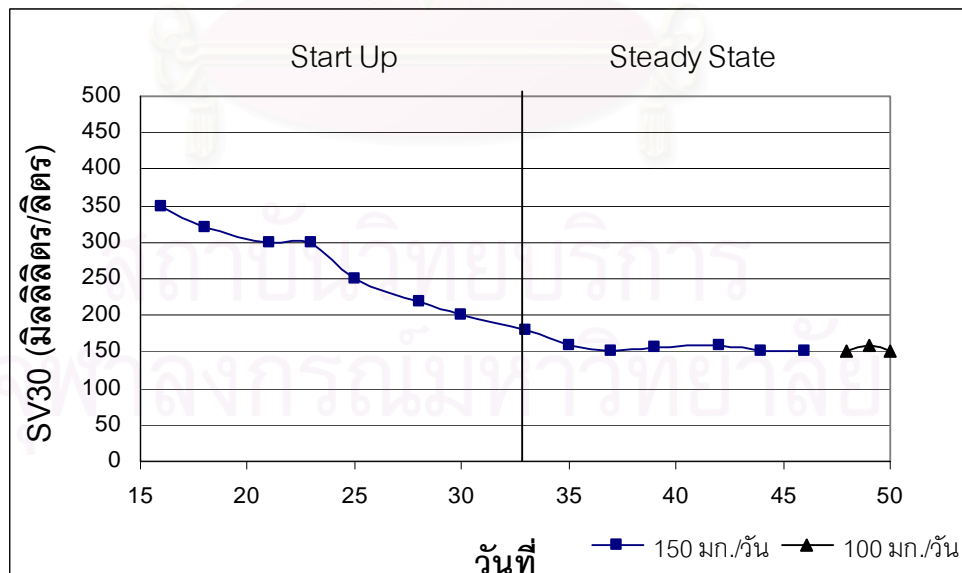
น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าไม่สามารถลดสีจากน้ำเสียได้ ค่าสีเริ่มต้นเท่ากับ 241.30 SU จะมีค่าสีอยู่ในช่วง 239.40 - 214.81 SU ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 ค่าสีของระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน

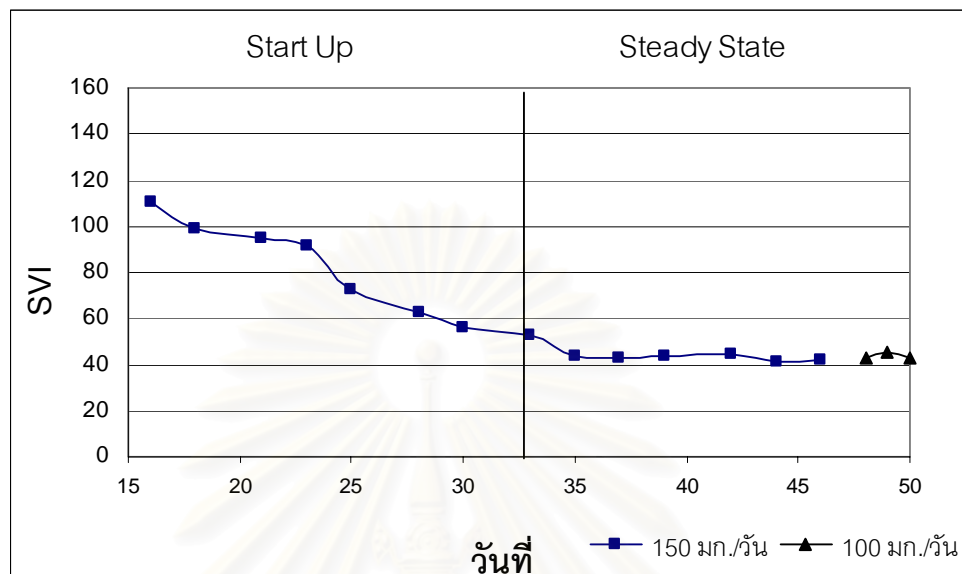
4) SV30

การทดลองพบว่าค่า SV30 ของน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า มีการปรับตัวลดลง เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยจะลดลงจนถึงค่าประมาณ 150 มิลลิเมตร/ลิตร ดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 ค่า SV 30 ของระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน

จากการทดลองพบว่าค่า SVI มีค่าลดลง เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น น้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าค่า SVI จะอยู่ในช่วง 42 - 45 ดังรูปที่ 4.40

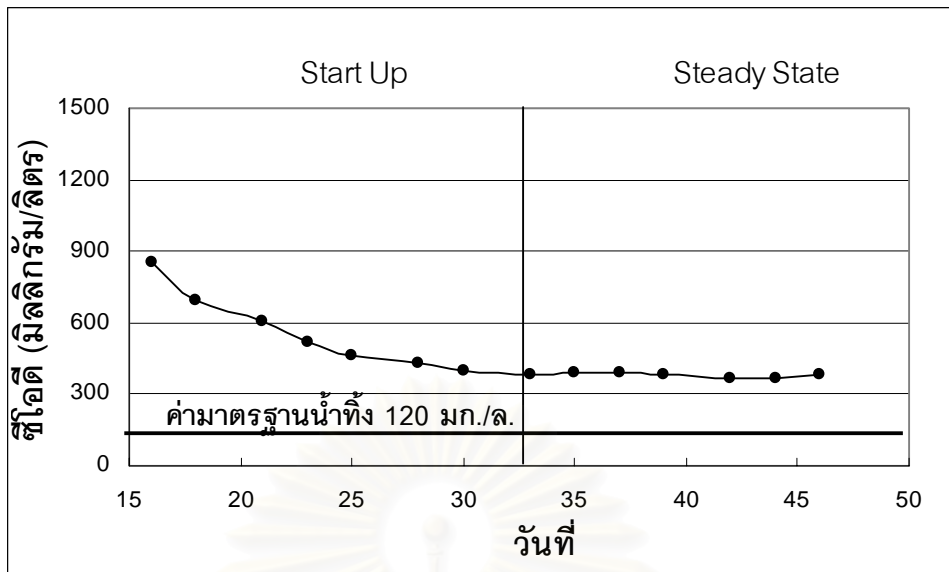


รูปที่ 4.40 ค่า SVI ของระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจน

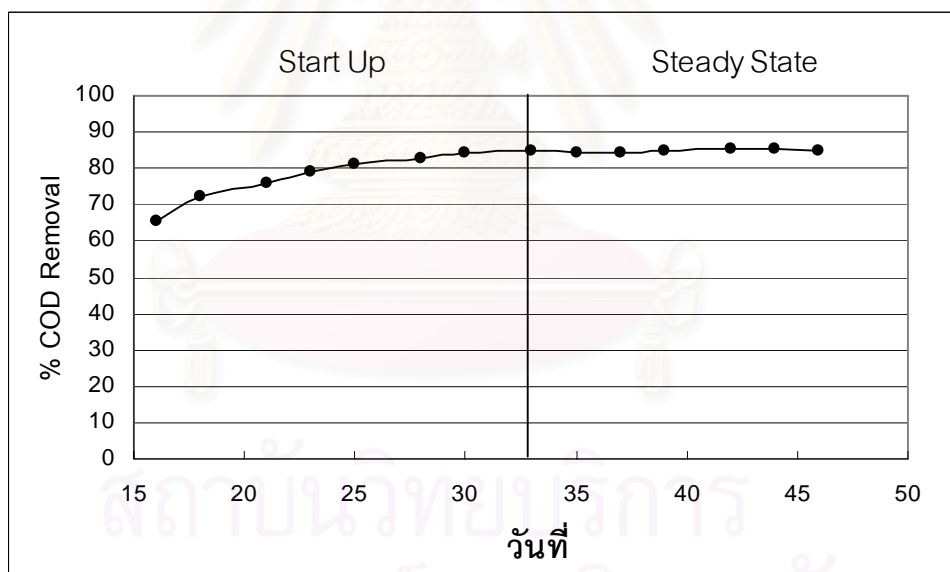
4.5.4 น้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

1) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเมื่อระบบเข้าสู่สมดุลในวันที่ 33 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 84.69% หลังระบบเข้าสู่สมดุล น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 380 มก./ล. และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 84.79 % ดังรูปที่ 4.41 และรูปที่ 4.42 การกำจัดซีโอดีด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า



รูปที่ 4.41 ซีไอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

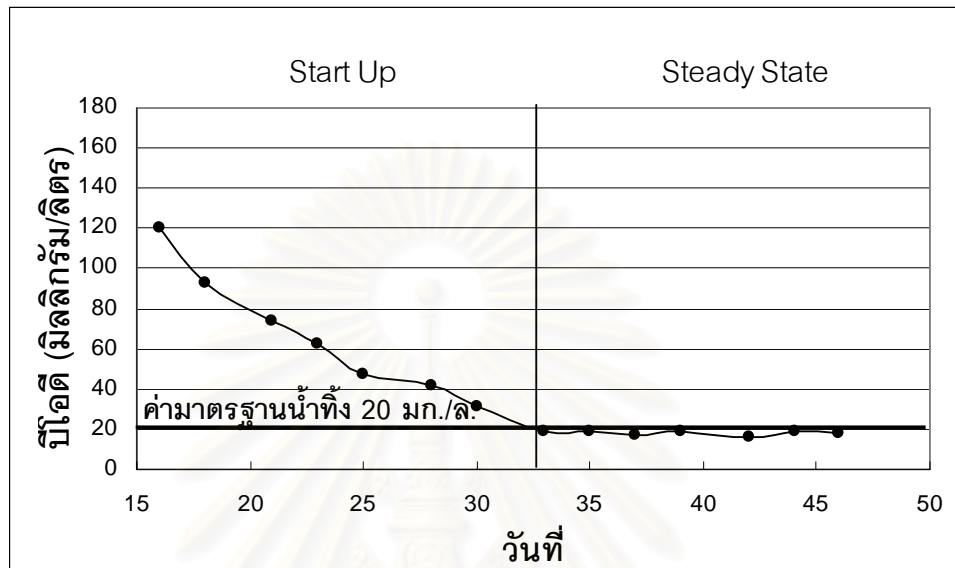


รูปที่ 4.42 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

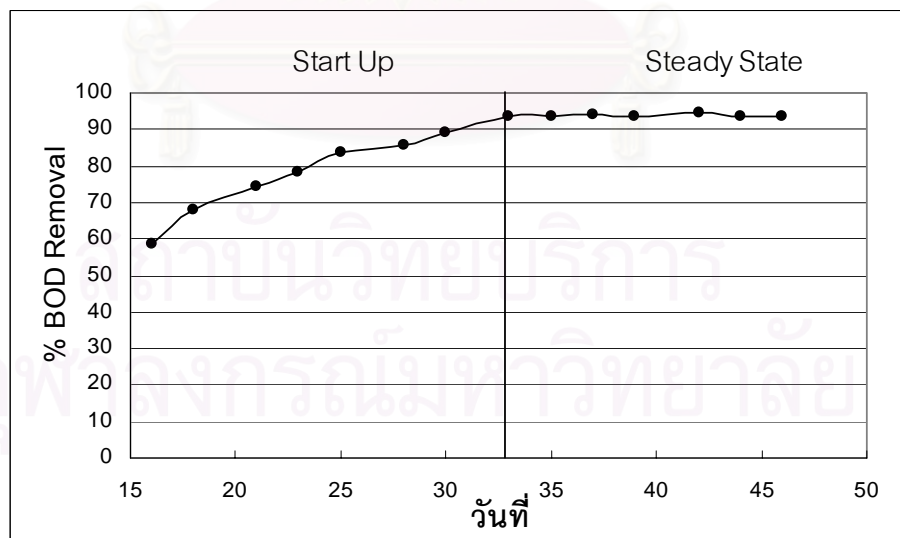
2) ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเมื่อระบบเข้าสู่สมดุลในวันที่ 33 มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีไอดี 93.44% หลังระบบเข้าสู่สมดุล น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า มีค่าบีไอดีเฉลี่ย 18.5 มก./ล. และประสิทธิภาพในการกำจัดบีไอดี 93.62 % ดังรูปที่ 4.43 และรูปที่ 4.44 ดังนั้น น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เมื่อนำมาย่อย

สลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ พบว่า สามารถลดค่าบีโอดีได้ดีกว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า และที่สภาวะสมดุล ได้ค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มก./ล. ซึ่งได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง



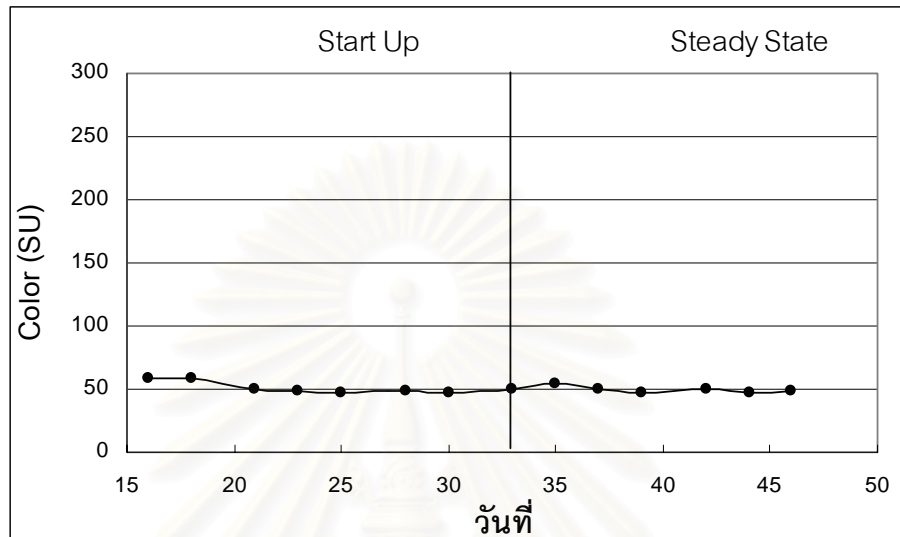
รูปที่ 4.43 บีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า



รูปที่ 4.44 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

3) ประสิทธิภาพการกำจัดสี

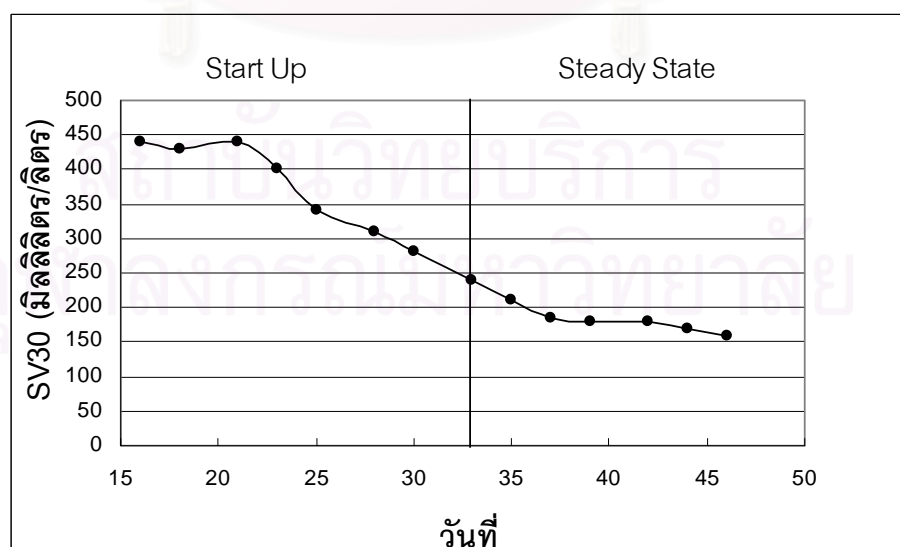
สีของน้ำในระบบบำบัดแบบชีวภาพลดลงเพียงเล็กน้อย โดยน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ค่าสีเริ่มต้นเท่ากับ 74.25 SU จะมีค่าสีลดลงอยู่ในช่วง 59.10 - 46.50 SU ดังรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.45 ค่าสีของระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

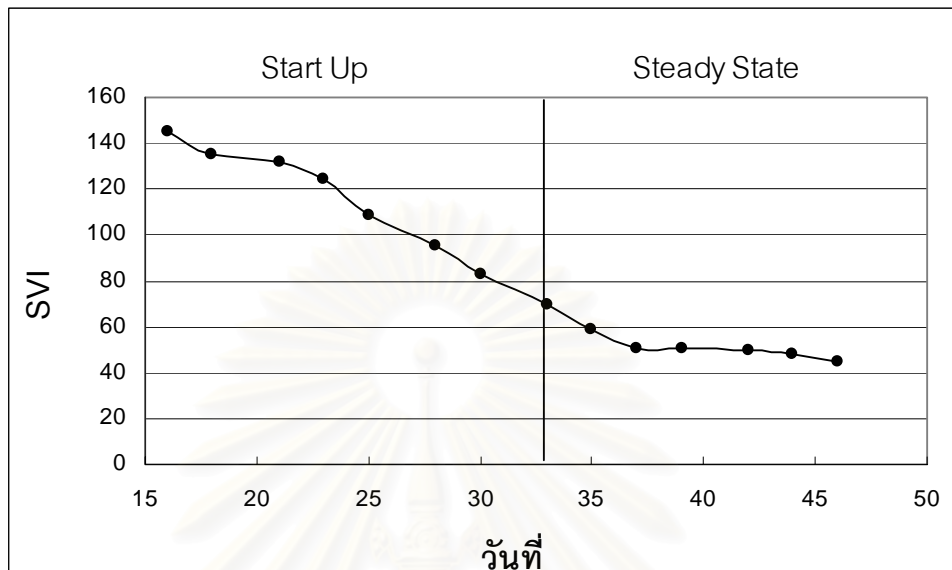
4) SV30

จากการทดลองพบว่าค่า SV30 มีการปรับตัวลดลง เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุลในที่สุด โดยน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ค่า SV30 จะลดลงจนถึงค่าประมาณ 170 มล./ล. ดังรูปที่ 4.46



รูปที่ 4.46 ค่า SV 30 ของระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

จากการทดลองพบว่าค่า SVI มีค่าลดลง เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าค่า SVI จะอยู่ในช่วง 45 - 50 ดังรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 ค่า SVI ของระบบบำบัดแบบชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

4.5.5 เปรียบเทียบน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

1) ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์

พารามิเตอร์	ประสิทธิภาพการกำจัด(%)		ความเข้มข้น(มก./ล.)	
	ไม่ผ่านEC	ผ่านEC	ไม่ผ่านEC	ผ่านEC
BOD	83	94	50	18
COD	67	85	730	380
BOD:COD	0.09	0.12	-	-

2) การเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ

- MLSS** น้ำเสียที่ไม่ผ่านEC และ ผ่านECจะควบคุมให้มีค่า MLSS เท่ากัน มีค่าประมาณ 3,500 มิลลิกรัม/ลิตร
- SV30** น้ำเสียที่ไม่ผ่านEC จะปรับตัวลดลงจากค่าประมาณ 350 มิลลิลิตร/ลิตร จนถึงค่าประมาณ 150 มิลลิลิตร/ลิตร
น้ำเสียที่ผ่านEC จะปรับตัวลดลงจากค่าประมาณ 450 มิลลิลิตร/ลิตร จนถึงค่าประมาณ 170 มิลลิลิตร/ลิตร
- SVI** น้ำเสียที่ไม่ผ่านEC จะมีค่า SVI อยู่ในช่วง 42 - 45
น้ำเสียที่ผ่านEC จะมีค่า SVI อยู่ในช่วง 45 - 50
- โดยน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะมีการตกตะกอนดีกว่าเนื่องจากค่าซีไอดีมีค่ามากกว่า และปริมาณสลัดจ์มากกว่าจึงจมตัวดีกว่า

3) ตะกอนจากการผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

จากการทดลองพบว่าหลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ตะกอนที่ได้ยังคงมีฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และเหล็กเหลืออยู่ โดยฟอสฟอรัส อยู่ในช่วง 9.89 - 18.34 มิลลิกรัม/ลิตร ไนโตรเจน อยู่ในช่วง 58.09 - 120 มิลลิกรัม/ลิตร และเหล็ก อยู่ในช่วง 50 - 400 มิลลิกรัม/ลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 เปรียบเทียบกังานวิจัยอื่น ๆ

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มวิธีต่าง ๆ

ผู้วิจัย	วิธีการ	ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด			
		สี	COD	BOD	SS
Najafpour และคณะ (2005)	ใช้ RBC	-	-	91	89
Ahmad, Ismail และBhatia (2003)	ใช้เมมเบรนโดยผ่านกระบวนการcoagulation, sedimentation, adsorption จากนั้นต่อกับ ultrafiltration และ reverse osmosis	-	98.8	99.4	-
Pechsuth, Prasertsan และ Okita (2001a)	การบำบัดขั้นต้นแบบชีวภาพโดยใช้เชื้อราทนร้อน	-	66.0	-	-
Pechsuth, Prasertsan และ Okita (2001b)	บำบัดแบบไร้อากาศที่อุณหภูมิห้อง ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิสูง ($50\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) โดยผ่านและไม่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วย <i>Rhizopus</i> sp. ST4	-	72.6	-	-
Ho และChan (1986)	Electroflotation ใช้ $\text{PbO}_2\text{-Ti}$ เป็นขั้ว	-	65	-	86
จตุรรัตน์ หนูสุข (2546)	ใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผลดีวัน โดยปลูกต้นธูปฤาษี	61.65	59.06	74.11	90.49
พูนสุข, อรัญ และโสภา (2544ข)	เปรียบเทียบวิธีทางชีวภาพ,เคมี และกายภาพวิธีทางเคมี โดยใช้โพล์ิเพอริกซัลเฟตเข้มข้น 10 มิลลิลิตร/ลิตร ร่วมกับ แคลเซียมออกไซด์เข้มข้น 10 กรัม/ลิตร สามารถกำจัดสีได้สูงสุด	84.5	86.5	-	-
ปรีชา มุณีศรี (2538)	ศึกษาการกำจัดน้ำมันในน้ำทิ้งจากเครื่อง decanter	-	74	-	-
ปาริชาติ หมั่นสีทา (2547)	ศึกษาการกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียบ่อบ่มและบ่อไม่ใช้ออกซิเจน	ดังตารางที่ 4.12			

4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดและพารามิเตอร์ที่เหลือ

จากการบำบัดน้ำเสียจากบ่อบ่มและบ่อไม่ใช้ออกซิเจนสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าความเข้มข้นของพารามิเตอร์ที่เหลือได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากบ่อบ่มและบ่อไม่ใช้ออกซิเจน

พารามิเตอร์	ประสิทธิภาพ (%)				ความเข้มข้นเฉลี่ย(มก./ล.)			
	บ่อบ่ม EC	บ่อไม่ใช้ออกซิเจน			บ่อบ่ม EC	บ่อไม่ใช้ออกซิเจน		
		EC	EC+Bio	Bio		EC	EC+Bio	Bio
สี	91.77	85.89	85.89	-	21.48	69.28	69.28	-
COD	51.84	56.88	84.79	66.84	1233	2,213	380	730
BOD	42.39	62.64	93.62	83.33	56.8	289.8	18.5	50

เมื่อเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น ๆ (ตารางที่ 4.11) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากน้ำเสียบ่อบ่มมีค่าสูงถึง 91.7% สูงกว่างานวิจัยอื่น (61.65 และ 84.5%) ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์ของน้ำเสียจากบ่อบ่มและบ่อไม่ใช้ออกซิเจน 51.84% และ 56.88% ตามลำดับ อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่างานวิจัยอื่น ๆ (59.06% ถึง 98.8%) แต่เมื่อนำน้ำเสียจากบ่อไม่ใช้ออกซิเจนมาผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแล้วนำไปบำบัดต่อทางชีววิทยาพบว่าค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 84.79% และมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี 93.62%

4.8 การนำไปออกแบบระบบที่ใช้งานจริง

- 1) Electrocoagulation เป็น Tertiary Treatment
 - ใช้กับน้ำเสียจากบ่อบ่ม เมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าสามารถกำจัดสีได้ แต่ยังคงมีค่าซีโอไซด์เกินอยู่ อาจจะต้องนำน้ำที่บำบัดแล้วกลับมาผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าอีกครั้ง
- 2) Electrocoagulation เป็น Primary Treatment ต่อด้วย Biological Treatment
 - ใช้กับน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าน่าจะทำให้ซีโอไซด์ที่เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากกลายเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายทางชีวภาพ หรือซีโอไซด์อาจจะกลายเป็นตะกอน และสามารถย่อยสลายต่อด้วยวิธีทางชีวภาพจนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าบีโอดีผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งได้ แต่ค่าซีโอไซด์ยังคงเกินอยู่

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

- 1) ระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้ดี โดยน้ำเสียจากบ่อบ่มกำจัดได้ร้อยละ 86.79 ถึง 96.64% น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน กำจัดได้ร้อยละ 76.13 ถึง 88.50% ที่ความต่างศักย์ 8 ถึง 12 โวลต์ และเวลาเก็บกัก 20 ถึง 90 นาที
- 2) ระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าสามารถกำจัดซีไอดีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้บางส่วน โดยน้ำเสียจากบ่อบ่มกำจัดได้ร้อยละ 47.52 ถึง 75.00% น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน กำจัดได้ร้อยละ 34.99 ถึง 71.48% ที่ความต่างศักย์ 8 ถึง 12 โวลต์ และเวลาเก็บกัก 20 ถึง 90 นาที
- 3) น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่านระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 นาที พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 11.55 กิโลวัตต์/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นราคาค่าไฟฟ้า เท่ากับ 31.80 บาท ปริมาณขี้เหล็กที่สลายตัวไปในการบำบัดมีค่าประมาณ 1,092 กรัม/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นราคาค่าใช้จ่ายในการสูญเสียเหล็กในการทำปฏิกิริยาแต่ละครั้งของการเดินระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เท่ากับ 27.68 บาท/ลูกบาศก์เมตร
- 4) น้ำเสียจากบ่อบ่มที่ผ่านระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์ เวลาเก็บกัก 20 นาที พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 12.93 กิโลวัตต์/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นราคาค่าไฟฟ้า เท่ากับ 35.62 บาท ปริมาณขี้เหล็กที่สลายตัวไปในการบำบัดมีค่าประมาณ 1167 กรัม/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นราคาค่าใช้จ่ายในการสูญเสียเหล็กในการทำปฏิกิริยาแต่ละครั้งของการเดินระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เท่ากับ 29.59 บาท/ลูกบาศก์เมตร
- 6) น้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแล้วนำมาผ่านกระบวนการทางชีวภาพ พบว่า สามารถลดค่าบีโอดีได้ค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง แต่ยังคงมีค่าซีไอดีเกินอยู่

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) น้ำจากบ่อบ่มเมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าพบว่าค่าสีลดลง แต่ค่าซีไอดียังเกินค่ามาตรฐานอยู่จึงน่าจะหาวิธีบำบัดซีไอดีต่อจากกระบวนการนี้
- 2) ควรทำการทดลองกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบต่อเนื่องเพื่อที่จะนำไปใช้ในงานจริงได้
- 3) หลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะมีค่าพีเอชสูงขึ้นควรจะมีการปรับค่าพีเอชของน้ำเสีย
- 4) น้ำเสียเริ่มต้นที่มีความเข้มข้นสูงมากอาจจะมีการเจือจางก่อนบำบัดเพื่อให้ได้น้ำเสียสุดท้ายได้ตามมาตรฐาน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กฤษณ์ จารุทะวีย์. 2545. การใช้แก๊สลอยเส้นใยปาล์มและแก๊สลอยซานอ้อยแทนที่ซีเมนต์บางส่วน
วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัณฑ์มาศ สุทธิเรืองวงศ์. 2539. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสี.
วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- การค้าภายใน, กรม. ราคาเหล็ก[Online] แหล่งที่มา : [http://www.dit.go.th/contentmain.asp?
typeid=2&catid=111](http://www.dit.go.th/contentmain.asp?typeid=2&catid=111)[2004, Dec 12]
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สยามสเตชั่น
นารีซ์พพลาย.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. มาตรฐานคุณภาพน้ำ[Online] แหล่งที่มา : [http://www.pcd.go.th/
info_serv/reg_std_water04.html#s1](http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s1)[2004, Mar 4]
- จินตนา แก้วบริสุทธิ. 2541. การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดย
กระบวนการดูดซับในชั้นตริง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการ
สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ. 2542. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์
ครอสลิงก์เฮลลูโลสที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- จตุรรัตน์ หนูสุข. 2546. การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่สามสำหรับ
น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทบวงมหาวิทยาลัย. 2528. คณะอนุกรรมการปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี ตาม
โครงการปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์ระดับมหาวิทยาลัย. เคมีเล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2.
กรุงเทพมหานคร : อักษรเจริญทัศน์.
- นโยบายและแผนพลังงาน, สำนักงาน. 2547. ค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดย
อัตโนมัติ (FT)[Online] แหล่งที่มา : <http://www.eppo.go.th/power/FT/tariff-FT.html>
[2004, Dec 12]

- นโยบายและแผนพลังงาน, สำนักงาน. 2543. อัตราค่าไฟฟ้าจำแนกตามกิจการไฟฟ้า[Online]
แหล่งที่มา : <http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-MEA-Char.html>[2004, Dec 12]
- บริษัททักซิณปาถัม (2521) จำกัด. ตัวอย่างผังกระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาถัมแบบ
หีบเปียก. 9 พฤษภาคม 2547 (เอกสารไม่ตีพิมพ์เผยแพร่)
- ปริเมษ เจริญนพคุณ. 2545. การกำจัดไนเตรดในน้ำทิ้งชุมชนด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต,ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร. อ้างถึงใน
วรรณวรรณ เทียงวรรณกานต์. การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟโดยการนำกระบวนการรวม
ตะกอนด้วยไฟฟ้าและการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546
- ปรีชา มุณีศรี. 2538. การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาถัมโดยใช้จุลินทรีย์. วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พูนสุข ประเสริฐสุวรรณ, อรัญ หันพงศกิตติกุล, และ โสภา จันทภาโส. 2544ก. ปัจจัยที่มีผลต่อการ
บำบัดน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาถัมโดยใช้เอนไซม์จาก *Aspergillus niger* ATCC 6275
ที่เลี้ยงบนกากปาถัม.วารสารสงขลานครินทร์ วทท.23(ฉบับพิเศษ): 797-806.
- พูนสุข ประเสริฐสุวรรณ, อรัญ หันพงศกิตติกุล, และ โสภา จันทภาโส. 2544ข. เปรียบเทียบการ
กำจัดสีของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาถัมด้วยวิธีทางชีวภาพ ทางเคมี และทางกายภาพ.
วารสารสงขลานครินทร์ วทท.23(ฉบับพิเศษ): 807-819.
- มันลิน ตันกุลเวศน์. 2542. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร :โรงพิมพ์
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันลิน ตันกุลเวศน์. 2538. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร :โรงพิมพ์
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร :
สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- วรรณวรรณ เทียงวรรณกานต์. 2546. การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟโดยการนำกระบวนการรวมตะกอน
ด้วยไฟฟ้าและการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิชัย ปานสมุทร, วิทยา พงศ์พฤทธิ, และชวณ อินดีะรังสี. 2546. ปาถัมน้ำมัน[Online] กรมพัฒนา
พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. แหล่งที่มา : <http://203.150.24.8/News/plam.pdf>[2004, May 16]
- วิชาการเกษตร, กรม. น้ำมันปาถัม[Online] แหล่งที่มา <http://www.doa.go.th/th/ShowArticles.aspx?id=534>[2004, May 16]

- วุฒิ วิพันธ์พงษ์. 2540. การใช้สารเคมีเพนตันกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำเสียจาโรงงานฟอกย้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. โครงการพัฒนาดัชนีสิ่งแวดล้อมเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมไทย : น้ำมันปาล์ม[Online] แหล่งที่มา : <http://www.tei.or.th/bep/envperfeval/palm/>[2004, May 16]
- ส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรม. น้ำมันปาล์ม[Online] แหล่งที่มา : <http://www.dip.go.th/Research/PreviewInvesment1.asp?WebSiteID=19&InvestmentFormID=72>[2004, May 16]
- โสภา จันทภาโส. 2541. ปัจจัยที่มีผลต่อการแยกสารแขวนลอยและน้ำมันจากน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์ม โดยใช้เอนไซม์และการลดความเข้มข้นของสี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อภิชาติ หิรัญจิตต์. 2538. การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าด้วยกระบวนการร่วมของการดูดซับและโคแอกูเลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อานนท์ ดุษฎีพรรัตน์. 2538. การขจัดสารอินทรีย์และสีของน้ำกากส่าโดยกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนและแบบเคมีไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Ahmad, A.L., Ismail, S., and Bhatia, S. 2003. Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology. Desalination 157: 87-95.
- Bejankiwar, R.S. 2002. Electrochemical treatment of cigarette industry wastewater: feasibility study. Water Research 36: 4386–4390.
- Chen, G. 2004. Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology 38: 11–41.
- Chen, X., Chen, G., and Yue, P. L. 2000. Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation, Separation and Purification Technology 19: 65–76.
- Feng, C., Sugiura, N., Shimada, S., and Maekawa, T. 2003. Development of a high Performance electrochemical wastewater treatment system. Hazardous Materials 103: 65–78.
- Ho, C. C., and Chan, C. Y. 1986. The application of lead dioxide-coated titanium anode in the electroflotation of palm oil mill effluent. Wat. Res. 20(12): 1523-1527.
- Holt, P., Barton, G., and Mitchell, C. 1999. Electrocoagulation as a wastewater treatment. The Third Annual Australian Environmental Engineering Research Event. [online]. Available from: www.isf.uts.edu.au/publications/EERE-Paper.pdf[2004, May 9]
- Kim, T.H., Park, C., Shin, E.B., and Kim, S. 2002. Decolorization of disperse and reactive dyes by continuous electrocoagulation process. Desalination 150 : 165-175.
- Kobyas, M., Can, O.T., and Bayramoglu, M. 2003. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. Journal of Hazardous Materials B100 : 163–178.
- Koparal, A.S., and Ogutveren, U. B. 2002. Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials B89: 83–94.
- Larue, O., and Vorobiev, E. 2003. Floc size estimation in iron induced electrocoagulation and coagulation using sedimentation data. Int. J. Miner. Process. 71: 1 – 15.
- Metcalf & Eddy, Inc. 1991. Wastewater Engineering. 3rd ed. Singapore : McGraw-Hill Book Co.
- Mehna, A., Bajpai, P., and Bajpai, P.K. 1995. Studies on decolourization of effluent from

- a small pulp mill utilizing agriresidues with *Trametes Versicolor*. Enzyme and Microbial Technology 17: 18-22.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J.R., and Cocke, D.L. 2001. Electrocoagulation (EC) — science and applications. Journal of Hazardous Materials B84: 29–41.
- Najafpour, G., Yieng, H.,A., Younesi, H., Zinatizadeh, A. 2005. Effect of organic loading on performance of rotating biological contactors using Palm Oil Mill effluents. Process Biochemistry 40: 2879–2884.
- Oloman, C. 1983. Tutorial lectures in electrochemical engineering and technology II. AIChE Symposium Series 79: 68-78.
- Pechsuth, P., Prasertsan, P., and Okita, M. 2001a. Biopretreatment of palm oil mill effluent by thermotolerant polymer-producing fungi. Songklanakarin J. Sci. Technol. 23(Suppl.): 771-777.
- Pechsuth, P., Prasertsan, P., and Okita, M. 2001b. High-rate anaerobic treatment of palm oil mill effluent. Songklanakarin J. Sci. Technol. 23(Suppl.): 779-787.
- Prasertsan, S., and Prasertsan, P. 1996. Biomass residues from palm oil mills in Thailand :an overview on quantity and potential usage. Biomass and Bioenergy. 11(5): 387-395.
- Shen, F., Chen, X., Gao, P., and Chen G. 2003. Electrochemical removal of fluoride ions from industrial wastewater. Chemical Engineering Science 58: 987 – 993.
- Szpyrkowicz, L., Juzzolino, C., and Kaul, S.N. 2000. A comparative study on oxidation of disperse dyes by electrochemical process, ozone, hypochlorite and fenton reagent. Wat. Res. 35(9): 2129–2136.
- Xiong, Y., Strunk, J.L., Xia, H., Zhu, X., and Karlsson, T.H. 2001. Treatment of dye wastewater containing acid orange II using a cell with tree-phase tree-dimensional electrode. Wat. Res. 22: 1105-1111.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่อป่ที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์

เวลา (นาท)	ครั้งที่	ว/ด/ป	I (A)	นน.ขี้ ที่ใช้(g)	COD(mg/L)		Color(SU)		SS(mg/L)		SV60 (ml/L)	pH		T(°C)		Cond.(µS/cm)	
					ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
20	1	13/05/47	4.76	1.09	2147	1120	280.95	40	293	160	840	9.13	9.26	28.00	39.00	10.11	10.70
	2	13/05/47	4.92	1.27	2147	1156	280.95	37.00	293	139	825	9.13	9.35	28.00	37.00	10.11	10.41
	3	15/05/47	4.86	1.16	2147	1105	280.95	34.50	293	147	820	9.13	9.40	28.00	38.00	10.11	10.58
	avg		4.85	1.17	2147	1127.00	280.95	37.17	293	148.67	828.33	9.13	9.34	28.00	38.00	10.11	10.56
	SD		0.08	0.09	0	26.21	0.00	2.75	0	10.60	10.41	0	0.07	0	1.00	0	0.15
30	1	17/05/47	5.42	2.50	2160	1125	260.79	28.00	256	125	800	9.06	9.35	29.00	38.50	10.24	11.12
	2	17/05/47	5.38	2.41	2160	1114	260.79	20.00	256	134	740	9.06	9.40	29.00	39.00	10.24	10.93
	3	19/05/47	5.46	2.46	2160	1120	260.79	20.50	256	120	755	9.06	9.43	29.00	38.50	10.24	10.78
	avg		5.42	2.46	2160	1119.67	260.79	22.83	256	126.33	765.00	9.06	9.39	29.00	38.67	10.24	10.94
	SD		0.04	0.05	0	5.51	0.00	4.48	0	7.09	31.22	0	0.04	0	0.29	0	0.17
40	1	24/05/47	6.02	3.02	2240	1105	260.00	25.00	310	106	725	8.97	9.40	29.00	45.00	10.86	11.82
	2	24/05/47	5.82	3.12	2240	1092	260.00	17.30	310	119	700	8.97	9.56	29.00	45.00	10.86	11.67
	3	25/05/47	5.90	3.04	2240	1074	260.00	20.00	310	128	705	8.97	9.40	29.00	42.00	10.86	11.91
	avg		5.91	3.06	2240	1090.33	260.00	20.77	310	117.67	710.00	8.97	9.45	29.00	44.00	10.86	10.80
	SD		0.10	0.05	0	15.57	0.00	3.91	0	11.06	13.23	0	0.09	0	1.73	0	0.12
90	1	17/12/47	5.34	6.63	2506	940	290.29	12.00	384	110	555	9.00	10.10	28.00	60.00	10.37	12.28
	2	17/12/47	5.40	6.48	2506	916	290.29	11.10	384	110	530	9.00	9.95	28.00	57.50	10.37	12.12
	3	17/12/47	5.52	6.57	2506	943	290.29	10.05	384	110	565	9.00	9.89	28.00	58.00	10.37	12.08
	avg		5.42	6.56	2506	933.00	290.29	11.05	384	110.00	550.00	9.00	9.98	28.00	58.50	10.37	12.16
	SD		0.09	0.08	0	14.80	0.00	0.98	0	0.00	18.03	0	0.11	0	1.32	0	0.11

ตารางที่ ก-2 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่มที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์

เวลา (นาที)	ครั้งที่	ว/ด/ป	I (A)	นน.ขี้ ที่ใช้(g)	COD(mg/L)		Color(SU)		SS(mg/L)		SV60 (ml/L)	pH		T(°C)		Cond.(µS/cm)	
					ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
20	1	14/05/47	6.05	1.56	2640	1412	282.73	30.50	290	136	775	9.06	9.37	28.00	37.00	11.33	11.72
	2	14/05/47	5.86	1.45	2640	1243	282.73	29.60	290	130	825	9.06	9.34	28.00	43.00	11.33	12.13
	3	14/05/47	5.97	1.60	2640	1306	282.73	29.00	290	130	800	9.06	9.22	28.00	40.00	11.33	11.65
	avg		5.96	1.54	2640	1320.33	282.73	29.70	290	132.00	800.00	9.06	9.31	28.00	40.00	11.33	11.83
	SD		0.10	0.08	0	85.41	0	0.75	0	3.46	25.00	0	0.08	0	3.00	0	0.26
30	1	20/05/47	6.45	2.86	2526	1326	263.34	21.56	326	125	755	9.03	9.45	27.00	44.00	12.42	13.08
	2	20/05/47	6.15	2.75	2526	1212	263.34	21.60	326	116	735	9.03	9.55	27.00	45.00	12.42	13.03
	3	20/05/47	6.30	2.89	2526	1160	263.34	21.28	326	126	730	9.03	9.45	27.00	41.50	12.42	13.06
	avg		6.30	2.83	2526	1232.67	263.34	21.48	326	122.33	740.00	9.03	9.48	27.00	43.50	12.42	13.06
	SD		0.15	0.07	0	84.91	0	0.17	0	5.51	13.23	0	0.06	0	1.80	0	0.03
40	1	26/05/47	6.53	3.65	2560	1125	280.95	21.30	335	108	700	9.05	10.00	26.00	48.00	12.23	13.26
	2	26/05/47	6.47	3.92	2560	1051	280.95	20.50	335	118	710	9.05	9.80	26.00	42.00	12.23	13.05
	3	26/05/47	6.34	3.94	2560	1086	280.95	20.00	335	120	695	9.05	9.72	26.00	43.50	12.23	13.17
	avg		6.45	3.84	2560	1087.33	280.95	20.60	335	115.33	701.67	9.05	9.84	26.00	44.50	12.23	13.16
	SD		0.10	0.16	0	37.02	0	0.66	0	6.43	7.64	0	0.14	0	3.12	0	0.11
90	1	20/12/47	6.00	7.90	2758	982	294.68	11.00	395	100	520	9.17	10.20	28.30	63.00	11.98	13.73
	2	20/12/47	6.06	7.90	2758	1011	294.68	10.00	395	96	510	9.17	10.10	28.30	61.50	11.98	13.70
	3	20/12/47	6.00	7.75	2758	980	294.68	10.50	395	110	500	9.17	10.12	28.30	61.50	11.98	13.85
	avg		6.02	7.85	2758	991.00	294.68	10.50	395	102.00	510.00	9.17	10.14	28.30	62.00	11.98	13.76
	SD		0.03	0.09	0	17.35	0	0.50	0	7.21	10.00	0	0.05	0	0.87	0	0.08

ตารางที่ ก-3 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจากน้ำเสียบ่มที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์

เวลา (นาท)	ครั้งที่	ว/ด/ป	I (A)	นน.ขี้ ที่ใช่(g)	COD(mg/L)		Color(SU)		SS(mg/L)		SV60 (ml/L)	pH		T(□C)		Cond.(□S/cm)		
					ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			
20	1	17/05/47	6.27	2.00	2160	1032	280.95	35.50	276	125	745	8.87	8.50	25.00	47.50	11.77	12.45	
	2	17/05/47	6.28	2.46	2160	1145	280.95	24.80	276	136	720	8.87	9.00	25.00	48.50	11.77	12.61	
	3	17/05/47	6.18	1.78	2160	1023	280.95	27.60	276	112	725	8.87	9.50	25.00	48.00	11.77	12.58	
	avg			6.24	2.08	2160	1066.67	280.95	29.30	276	124.33	730.00	8.87	9.00	25.00	48.00	11.77	12.55
	SD			0.06	0.35	0	67.99	0	5.55	0	12.01	13.23	0	0.50	0	0.50	0	0.09
30	1	21/05/47	6.25	3.00	2172	980	275.13	22.00	325	113	660	9.00	9.35	26.50	54.00	12.16	13.04	
	2	21/05/47	6.30	2.86	2172	956	275.13	19.00	325	108	650	9.00	9.24	26.50	49.00	12.16	12.86	
	3	21/05/47	6.25	2.82	2172	948	275.13	18.00	325	104	670	9.00	9.20	26.50	50.00	12.16	12.80	
	avg			6.27	2.89	2172	961.33	275.13	19.67	325	108.33	660.00	9.00	9.26	26.50	51.00	12.16	12.90
	SD			0.03	0.09	0	16.65	0	2.08	0	4.51	10.00	0	0.08	0	2.65	0	0.12
40	1	28/05/47	6.24	4.16	2240	953	260.55	19.00	250	75	590	9.03	9.65	28.00	52.00	12.77	13.47	
	2	28/05/47	6.54	4.12	2240	938	260.55	17.20	250	69	595	9.03	9.70	28.00	56.00	12.77	14.07	
	3	28/05/47	6.20	4.06	2240	920	260.55	11.38	250	60	590	9.03	9.60	28.00	57.00	12.77	13.56	
	avg			6.33	4.11	2240	937.00	260.55	15.86	250	68.00	591.67	9.03	9.65	28.00	55.00	12.77	13.70
	SD			0.19	0.05	0	16.52	0	3.98	0	7.55	2.89	0	0.05	0	2.65	0	0.32
90	1	22/12/47	6.18	10.72	2773	708	295.48	10.20	377	65	470	8.68	10.08	27.90	69.50	11.16	14.24	
	2	22/12/47	6.10	10.24	2773	685	295.48	9.45	377	60	460	8.68	10.09	27.90	67.50	11.16	14.13	
	3	22/12/47	6.14	10.66	2773	686	295.48	10.20	377	50	475	8.68	9.95	27.90	67.75	11.16	13.88	
	avg			6.14	10.54	2773	693.00	295.48	9.95	377	60.00	468.33	8.68	10.04	27.90	68.25	11.16	14.08
	SD			0.04	0.26	0	13.00	0	0.43	0	7.64	7.64	0	0.08	0	1.09	0	0.18

ตารางที่ ก-4 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าของน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ความต่างศักย์ 8 โวลต์

เวลา (นาท)	ครั้งที่	ว/ด/ป	I (A)	นน.ขี้ ที่ใช้(g)	COD(mg/L)		Color(SU)		SS(mg/L)		SV60 (ml/L)	pH		T(°C)		Cond.(µS/cm)	
					ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		
20	1	12/10/47	4.32	0.96	5123	3584	558.25	144.42	2274	1576	825	8.15	8.82	27.70	31.20	10.08	10.16
	2	12/10/47	4.42	1.22	5123	3056	558.25	125.32	2274	1594	835	8.15	8.34	27.70	29.00	10.08	10.12
	3	12/10/47	4.25	1.10	5123	3350	558.25	130.00	2274	1492	800	8.15	8.95	27.70	29.80	10.08	10.05
	avg		4.33	1.09	5123	3330	558.25	133.25	2274	1554	820	8.15	8.70	27.70	30.00	10.08	10.11
	SD		0.09	0.13	0	264.57	0	9.96	0	54.44	18.03	0	0.32	0	1.11	0	0.06
30	1	22/10/47	4.52	1.80	5115	2940	515.40	104.52	2493	1052	750	8.16	8.88	28.00	33.50	10.29	10.60
	2	22/10/47	4.11	1.51	5115	3076	515.40	102.20	2493	1213	775	8.16	8.79	28.00	34.50	10.29	10.68
	3	22/10/47	4.58	2.03	5115	2585	515.40	92.39	2493	1155	800	8.16	8.64	28.00	34.00	10.29	10.23
	avg		4.40	1.78	5115	2867	515.40	99.70	2493	1140	775	8.16	8.77	28.00	34.00	10.29	10.50
	SD		0.26	0.26	0	253.51	0	6.44	0	81.54	25.00	0	0.12	0	0.50	0	0.24
40	1	4/11/47	4.33	2.78	4367	2045	563.46	100.80	2014	646	675	8.11	9.01	27.30	37.50	10.29	10.62
	2	4/11/47	4.55	2.96	4367	1983	563.46	90.21	2014	544	650	8.11	8.62	27.30	40.60	10.29	10.70
	3	4/11/47	4.68	3.19	4367	1761	563.46	85.74	2014	700	625	8.11	8.96	27.30	38.90	10.29	10.36
	avg		4.52	2.98	4367	1930	563.46	92.25	2014	630	650	8.11	8.86	27.30	39.00	10.29	10.56
	SD		0.18	0.21	0	149.32	0	7.73	0	79.22	25.00	0	0.21	0	1.55	0	0.18
90	1	24/12/47	3.94	6.00	4373	1863	571.86	80.32	1768	340	470	8.17	9.35	28.40	54.30	9.63	10.80
	2	24/12/47	4.17	6.12	4373	1817	571.86	72.93	1768	295	450	8.17	9.23	28.40	51.10	9.63	10.56
	3	24/12/47	4.30	6.52	4373	1640	571.86	63.19	1768	325	415	8.17	9.50	28.40	56.60	9.63	10.83
	avg		4.14	6.21	4373	1773	571.86	72.15	1768	320	445	8.17	9.36	28.40	54.00	9.63	10.73
	SD		0.18	0.27	0	117.74	0	8.59	0	22.91	27.84	0	0.14	0	2.76	0	0.15

ตารางที่ ก-5 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าของน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์

เวลา (นาท)	ครั้งที่	ว/ด/ป	I (A)	นน.ขี้ ที่ใช้(g)	COD(mg/L)		Color(SU)		SS(mg/L)		SV60 (ml/L)	pH		T(°C)		Cond.(µS/cm)	
					ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		
20	1	14/10/47	5.51	1.92	5125	3080	475.00	130.30	1652	835	725	8.40	8.80	29.00	37.70	9.76	10.38
	2	14/10/47	5.00	1.48	5125	3215	475.00	110.20	1652	970	880	8.40	8.92	29.00	39.40	9.76	10.10
	3	14/10/47	4.85	1.37	5125	3266	475.00	120.10	1652	925	825	8.40	8.75	29.00	36.90	9.76	10.12
	avg		5.12	1.59	5125	3187	475.00	120.20	1652	910	810	8.40	8.82	29.00	38.00	9.76	10.20
	SD		0.35	0.29	0	96.11	0	10.05	0	68.74	78.58	0	0.09	0	1.28	0	0.16
30	1	25/10/47	5.17	1.95	5450	2844	583.22	92.78	1482	380	775	8.34	8.87	28.50	41.00	11.23	11.80
	2	25/10/47	5.69	2.59	5450	2480	583.22	90.12	1482	338	755	8.34	8.78	28.50	40.30	11.23	11.70
	3	25/10/47	5.43	2.44	5450	2518	583.22	86.04	1482	359	720	8.34	8.98	28.50	37.50	11.23	11.66
	avg		5.43	2.33	5450	2614	583.22	89.65	1482	359	750	8.34	8.88	28.50	39.60	11.23	11.72
	SD		0.26	0.33	0	200.09	0	3.39	0	21.00	27.84	0	0.10	0	1.85	0	0.07
40	1	6/11/47	6.28	3.30	5840	2552	611.35	85.54	1878	295	665	8.60	8.93	29.00	47.30	11.08	12.00
	2	6/11/47	6.07	3.41	5840	2384	611.35	99.56	1878	323	620	8.60	8.90	29.00	43.60	11.08	11.90
	3	6/11/47	5.35	3.28	5840	2660	611.35	82.75	1878	276	635	8.60	9.17	29.00	41.10	11.08	11.76
	avg		5.90	3.33	5840	2532	611.35	89.28	1878	298	640	8.60	9.00	29.00	44.00	11.08	11.89
	SD		0.49	0.07	0	139.08	0	9.01	0	23.64	22.91	0	0.15	0	3.12	0	0.12
90	1	25/12/47	5.63	7.48	5120	1691	552.84	64.75	2045	220	450	8.17	9.40	28.30	61.80	10.55	12.22
	2	25/12/47	4.90	7.19	5120	2040	552.84	73.26	2045	144	425	8.17	9.31	28.30	65.70	10.55	11.95
	3	25/12/47	5.11	7.25	5120	1750	552.84	63.44	2045	182	415	8.17	9.50	28.30	64.50	10.55	12.16
	avg		5.21	7.31	5120	1827.00	552.84	67.15	2045	182	430	8.17	9.40	28.30	64.00	10.55	12.11
	SD		0.38	0.15	0	186.81	0	5.33	0	38.00	18.03	0	0.10	0	2.00	0	0.14

ตารางที่ ก-6 ผลการทดลองการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าของน้ำเสียจากบ่อนำบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์

เวลา (นาท)	ครั้งที่	ว/ด/ป	I (A)	นน.ขี้ ที่ใช้(g)	COD(mg/L)		Color(SU)		SS(mg/L)		SV60 (ml/L)	pH		T(°C)		Cond.(µS/cm)	
					ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		
20	1	19/10/47	5.80	2.27	5840	3042	495.72	100.80	1880	511	725	8.38	9.00	28.00	40.50	10.41	10.65
	2	19/10/47	5.32	1.48	5840	3125	495.72	111.60	1880	580	770	8.38	8.87	28.00	41.70	10.41	10.69
	3	19/10/47	5.95	2.34	5840	2914	495.72	102.00	1880	541	725	8.38	8.70	28.00	37.80	10.41	10.61
	avg		5.69	2.03	5840	3027	495.72	104.80	1880	544	740	8.38	8.86	28.00	40.00	10.41	10.65
	SD		0.33	0.48	0	106.30	0	5.92	0	34.60	25.98	0	0.15	0	2.00	0	0.04
30	1	1/11/47	5.64	2.28	5133	2140	490.85	62.75	1273	580	600	8.43	8.65	27.00	48.50	11.08	11.35
	2	1/11/47	5.70	2.33	5133	2228	490.85	64.87	1273	523	625	8.43	9.14	27.00	40.50	11.08	11.29
	3	1/11/47	5.88	2.56	5133	2272	490.85	80.21	1273	472	650	8.43	8.81	27.00	41.50	11.08	11.45
	avg		5.74	2.39	5133	2213	490.85	69.28	1273	525	625	8.43	8.87	27.00	43.50	10.08	11.36
	SD		0.12	0.15	0	67.21	0	9.53	0	54.03	25.00	0	0.25	0	4.36	0	0.08
40	1	4/12/47	6.06	3.33	4585	2000	520.74	77.95	1626	160	525	8.39	9.00	26.00	55.50	11.54	12.10
	2	4/12/47	5.95	4.10	4585	1657	520.74	52.58	1626	166	525	8.39	8.62	26.00	51.60	11.54	12.00
	3	4/12/47	6.11	3.68	4585	1722	520.74	70.33	1626	202	540	8.39	9.16	26.00	52.80	11.54	12.09
	avg		6.04	3.70	4585	1793	554.71	66.95	1626	176	530	8.39	8.93	26.00	53.30	11.54	12.06
	SD		0.08	0.39	0	182.19	0	13.02	0	22.72	8.66	0	0.28	0	2.00	0	0.06
90	1	27/12/47	5.23	7.28	5750	1577	555.00	69.47	1960	164	415	8.16	9.58	27.20	70.00	11.89	12.70
	2	27/12/47	5.47	7.45	5750	1524	555.00	60.23	1960	125	400	8.16	9.95	27.20	72.50	11.89	12.45
	3	27/12/47	5.84	8.00	5750	1820	555.00	61.85	1960	149	385	8.16	9.83	27.20	64.50	11.89	12.62
	avg		5.51	7.58	5750	1640	555.00	63.85	1960	146	400	8.16	9.79	27.20	69.00	11.89	12.59
	SD		0.31	0.38	0	157.84	0	4.93	0	19.67	15.00	0	0.19	0	4.09	0	0.13

ตารางที่ ก-7 ผลการทดลองหาค่าบีโอดีต่อซีโอดีของกระบวนการทางชีวภาพ

วันที่	น้ำจากบ่อน้ำบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน				น้ำจากบ่อน้ำบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า			
	BOD	COD	BOD/COD	pH	BOD	COD	BOD/COD	pH
27/12/47	510	4373	0.12	8.34	325	2243	0.14	8.82
04/01/48	419	5840	0.07	8.15	280	3230	0.09	8.98
07/01/48	585	5523	0.11	8.15	300	3015	0.10	8.85
10/01/48	348	5082	0.07	8.38	254	2340	0.11	9.02
17/01/48	400	4400	0.09	8.41	290	2436	0.12	9.07
24/01/48	612	4489	0.14	8.21	268	2074	0.13	8.84
02/02/48	365	4564	0.08	8.14	312	2145	0.15	8.93
avg	462.64	4895.86	0.09	8.25	289.86	2497.57	0.12	8.93
SD	106.57	593.62	0.03	0.12	24.80	447.46	0.02	0.10

ตารางที่ ก-8 ผลการทดลองหาค่าฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และเหล็ก

ต.ย. ที่	ฟอสฟอรัส(มก./ล.)				ไนโตรเจน(มก./ล.)				เหล็ก(มก./ล.)
	ก่อน		หลัง (ตะกอน)		ก่อน		หลัง (ตะกอน)		หลัง (ตะกอน)
	บ่อบ่ม	บ่อไม่ใช้O ₂	บ่อบ่ม	บ่อไม่ใช้O ₂	บ่อบ่ม	บ่อไม่ใช้O ₂	บ่อบ่ม	บ่อไม่ใช้O ₂	บ่อไม่ใช้O ₂
1	14.32	22.09	7.81	14.23	60.80	128.29	50.26	58.09	100
2	10.91	20.70	7.16	15.65	52.60	115.73	36.04	59.83	80
3	12.64	21.17	7.65	8.03	64.84	134.09	51.48	75.20	80
4	13.78	25.10	9.24	12.57	72.47	168.13	34.32	88.45	70
5	15.14	23.02	10.52	13.68	81.78	197.27	35.56	77.38	90
6	13.89	27.70	12.15	15.92	90.72	202.08	46.23	120.00	50
7	13.04	25.41	8.11	9.89	94.13	224.04	47.61	93.33	150
8	11.96	33.27	8.78	18.34	103.21	214.67	60.56	96.48	280
9	13.48	30.52	7.98	15.62	77.38	165.22	36.04	85.63	400
avg	13.24	25.44	8.82	13.77	77.55	172.17	44.23	83.82	144.44
SD	1.28	4.33	1.60	3.20	16.64	39.76	9.21	19.16	118.02

ตารางที่ ก-9 ผลการทดลองกระบวนการทางชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ว/ด/ป	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	MLSS (mg/L)	%Rem. BOD	%Rem. COD	BOD COD	color (SU)	SV30 ml/L	SVI	
OLR = 150 mg/d										
19/01/48	170	1423	3184	46.67	36.95	0.12	212.25	350	111	
	150	1351	3128							
	avg	160.00	1387							3156
	SD	14.14	50.91							39.60
21/01/48	138	1250	3274	55.83	41.82	0.10	221.90	320	99	
	127	1310	3182							
	avg	132.50	1280							3228
	SD	7.78	42.43							65.05
24/01/48	120	1052	3128	62.17	53.09	0.11	239.40	300	95	
	107	1012	3176							
	avg	113.50	1032							3152
	SD	9.19	28.28							33.94
26/01/48	128	1216	3244	61.67	46.68	0.10	221.45	300	92	
	102	1130	3291							
	avg	115.00	1173							3268
	SD	18.38	60.81							33.23
28/01/48	120	980	3498	65.83	56.27	0.11	221.50	250	72	
	85	944	3421							
	avg	102.50	962							3460
	SD	24.75	25.46							54.45
31/01/48	80	896	3554	69.67	60.27	0.10	234.61	220	62	
	102	852	3502							
	avg	91.00	874							3528
	SD	15.56	31.11							36.77
02/02/48	85	768	3570	73.33	65.91	0.11	227.43	200	56	
	75	732	3542							
	avg	80.00	750							3556
	SD	7.07	25.46							19.80
05/02/48	80	746	3406	74.00	66.36	0.11	219.29	180	52	
	76	734	3458							
	avg	78.00	740							3432
	SD	2.83	8.49							36.77
07/02/48	59	742	3685	81.83	67.09	0.08	221.90	160	44	
	50	706	3651							
	avg	54.50	724							3668
	SD	6.36	25.46							24.04
09/02/48	64	750	3512	80.33	66.43	0.08	229.82	150	43	
	54	727	3520							
	avg	59.00	739							3516
	SD	7.07	16.26							5.66

ตารางที่ ก-9 ผลการทดลองกระบวนการทางชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อบำบัดไม่ใช้ออกซิเจน(ต่อ)

ว/ด/ป	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	MLSS (mg/L)	%Rem. BOD	%Rem. COD	BOD COD	color (SU)	SV30 (ml/L)	SVI
OLR = 150 mg/d									
11/02/48	49	722	3514	83.50	66.84	0.07	214.81	155	44
	50	737	3561						
avg	49.50	730	3538						
SD	0.71	10.61	33.23						
14/02/48	50	764	3544	83.33	65.93	0.07	226.71	160	45
	50	735	3600						
avg	50.00	750	3572						
SD	0.00	20.51	39.60						
16/02/48	60	718	3655	81.67	67.00	0.08	219.68	150	42
	50	734	3567						
avg	55.00	726	3611						
SD	7.07	11.31	62.23						
18/02/48	55	718	3591	83.33	66.82	0.07	219.24	150	42
	45	742	3523						
avg	50.00	730	3557						
SD	7.07	16.97	48.08						
OLR = 100 mg/d									
21/02/48	18	390	3520	90.50	80.84	0.05	220.46	150	43
	20	390	3485						
avg	19.00	390	3503						
SD	1.41	0.00	24.75						
22/02/48	20	390	3586	91.00	81.13	0.05	216.75	160	45
	16	378	3510						
avg	18.00	384	3548						
SD	2.83	8.49	53.74						
23/02/48	20	360	3470	90.00	82.06	0.05	218.55	150	43
	20	370	3545						
avg	20.00	365	3508						
SD	0.00	7.07	53.03						

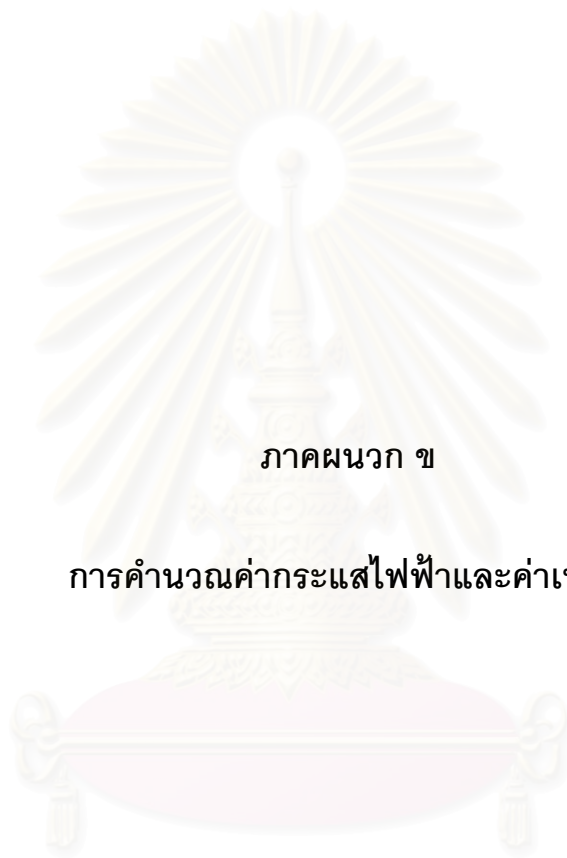
ตารางที่ ก-10 ผลการทดลองกระบวนการทางชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้
ออกซิเจนที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ว/ด/ป	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	MLSS (mg/L)	%Rem. BOD	%Rem. COD	BOD COD	color (SU)	SV30	SVI
OLR = 150 mg/d									
19/01/48	120	866	3076	58.59	65.69	0.14	59.10	440	145
	120	848	3004						
avg	120.00	857	3040						
SD	0.00	12.73	50.91						
21/01/48	85	745	3167	68.08	72.34	0.13	58.45	430	135
	100	637	3209						
avg	92.50	691	3188						
SD	10.61	76.37	29.70						
24/01/48	74	580	3362	74.47	75.68	0.12	50.45	440	132
	74	635	3317						
avg	74.00	608	3340						
SD	0.00	38.89	31.82						
26/01/48	63	530	3188	78.43	79.10	0.12	48.40	400	124
	62	514	3240						
avg	62.50	522	3214						
SD	0.71	11.31	36.77						
28/01/48	52	486	3140	83.78	81.39	0.10	46.50	340	109
	42	444	3100						
avg	47.00	465	3120						
SD	7.07	29.70	28.28						
31/01/48	45	438	3286	85.51	82.69	0.10	48.84	310	95
	39	427	3226						
avg	42	433	3256						
SD	4.24	7.78	42.43						
02/02/48	30	400	3400	89.13	84.09	0.08	47.43	280	83
	33	395	3352						
avg	31.50	398	3376						
SD	2.12	3.54	33.94						
05/02/48	20	390	3485	93.44	84.69	0.05	50.35	240	70
	18	375	3416						
avg	19.00	383	3451						
SD	1.41	10.61	48.79						
07/02/48	19	410	3595	93.62	84.39	0.05	54.94	210	59
	18	370	3542						
avg	18.50	390	3569						
SD	0.71	28.28	37.48						
09/02/48	21	384	3680	93.96	84.23	0.04	49.82	185	50
	14	404	3672						
avg	17.50	394	3676						
SD	4.95	14.14	5.66						

ตารางที่ ก-10 ผลการทดลองกระบวนการทางชีวภาพของน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้
ออกซิเจนที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (ต่อ)

ว/ด/ป	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	MLSS (mg/L)	%Rem. BOD	%Rem. COD	BOD COD	color (SU)	SV30	SVI
OLR = 150 mg/d									
11/02/48	21 16	400 366	3581 3542	93.62	84.67	0.05	47.32	180	51
avg	18.50	383	3562						
SD	3.54	24.04	27.58						
14/02/48	18 14	374 355	3625 3610	94.48	85.41	0.04	49.74	180	50
avg	16.00	365	3618						
SD	2.83	13.44	10.61						
16/02/48	18 20	370 370	3520 3574	93.44	85.19	0.05	46.76	170	48
avg	19.00	370	3547						
SD	1.41	0.00	38.18						
18/02/48	18 19	392 368	3602 3566	93.62	84.79	0.05	48.81	160	45
avg	18.50	380	3584						
SD	0.71	16.97	25.46						

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าและค่าเหล็ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณ การบำบัดน้ำเสียปริมาตร 1.0 ลิตร โดยใช้ขั้วเหล็กกว้าง 11 ซม. ยาว 6.0 ซม. หนา 2 ม.ม. เป็นอิเล็กโทรด จำนวน 2 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 1.5 ซม. ความต่างศักย์ไฟฟ้า 8 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 4.85 แอมแปร์ ระยะเวลาเก็บกัก 20 นาที

1) การคำนวณกระแสไฟฟ้าในหน่วยฟาราเดย์

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร ปริมาณไฟฟ้า} &= I (\text{แอมแปร์}) * t (\text{วินาที}) \\
 &= 4.85 * (20/60) * 60 * 60 \\
 &= 5,820 \text{ Coulomb/mol} \\
 &= 5,820 / 96,500 (e^- 1 \text{ mol มีประจุ } 96500 \text{ C}) \\
 &= 0.60 \text{ ฟาราเดย์}
 \end{aligned}$$

2) การคำนวณหาค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร } C &= I/A \\
 &= (4.85 * 1000) / ((1.5+0.4)*11.0*6.0) \\
 &= 38.68 \text{ มิลลิแอมแปร์/ตร.ซ.ม.}
 \end{aligned}$$

3) การคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ในการบำบัด

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร } W &= \frac{VIt}{1000v} \\
 &= (8.0 * 4.85 * (20/60)) / (1000 * (1.0/1000)) \\
 &= 12.93 \text{ กิโลวัตต์/ลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

4) การคำนวณหาค่าไฟฟ้า

การคิดค่าไฟฟ้าจะคิดจากการใช้พลังงานในการบำบัดคูณกับราคาไฟฟ้าต่อหน่วย ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร ค่าไฟฟ้า} &= (\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} * \text{ค่าหน่วย/หน่วย}) + \\
 &\quad (\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} * \text{FT}) + \text{VAT}7\% \\
 &= [(12.93 * 2.1412) + (12.93 * 0.4328)] * 1.07 \\
 &= 35.62 \text{ บาท/ลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ

FT = 43.28 สตางค์ต่อหน่วย ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2547

ค่าไฟฟ้า = 2.1412 บาท/หน่วย ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2543

ตาราง ข-1 ตารางการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าและค่าเหล็ก

ความ ต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	น.น.ซั้ว+ ที่ใช้ (g/L)	น.น.ซั้ว+ ที่ใช้ (g/m ³)	* ค่า ซั้วไฟฟ้า (บาท/m ³) (9.00บาท)	** ค่า ซั้วไฟฟ้า (บาท/m ³) (25.36บาท)	I หลัง (A)	พลังงาน ที่ใช้ (kW/m ³)	ค่า ไฟฟ้า (บาท)	* รวม ราคา (บาท)	** รวม ราคา (บาท)
น้ำเสียจากบ่อบ่ม										
8	20	1.17	1166.67	10.50	29.59	4.85	12.93	35.62	46.12	65.21
	30	2.46	2458.30	22.12	62.34	5.42	21.68	59.71	81.84	122.05
	40	3.06	3058.33	27.53	77.56	5.91	31.52	86.81	114.34	164.37
	90	6.55	6550.00	58.95	166.11	5.42	65.04	179.13	238.08	345.24
10	20	1.54	1541.67	13.88	39.10	5.96	15.89	43.77	57.65	82.87
	30	2.83	2833.33	25.50	71.85	6.30	25.20	69.41	94.91	141.26
	40	3.84	3841.67	34.58	97.42	6.45	34.40	94.74	129.32	192.17
	90	7.87	7866.67	70.80	199.50	6.02	72.24	198.96	269.76	398.46
12	20	2.08	2083.33	18.75	52.83	6.24	16.64	45.83	64.58	98.66
	30	2.89	2891.67	26.03	73.33	6.27	25.08	69.07	95.10	142.41
	40	4.11	4108.33	36.98	104.19	6.30	33.60	92.54	129.52	196.73
	90	10.54	10541.67	94.88	267.34	6.14	73.68	202.93	297.80	470.26
น้ำเสียจากบ่อบำบัดไม่ใช้ออกซิเจน										
8	20	1.09	1091.67	9.83	27.68	4.33	11.55	31.80	41.63	59.49
	30	1.78	1775.00	15.98	45.01	4.40	17.60	48.47	64.45	93.49
	40	2.98	2983.33	26.85	75.66	4.52	24.11	66.39	93.24	142.05
	90	6.21	6208.33	55.88	157.44	4.14	49.68	136.83	192.70	294.27
10	20	1.59	1591.67	14.33	40.36	5.12	13.65	37.60	51.93	77.97
	30	2.33	2325.00	20.93	58.96	5.43	21.72	59.82	80.75	118.78
	40	3.33	3325.00	29.93	84.32	5.90	31.47	86.66	116.59	170.99
	90	7.31	7308.33	65.78	185.34	5.21	62.52	172.19	237.97	357.53
12	20	2.03	2033.33	18.30	51.57	5.69	15.17	41.79	60.09	93.36
	30	2.39	2391.67	21.53	60.65	5.74	22.96	63.24	84.76	123.89
	40	3.70	3700.00	33.30	93.83	6.04	32.21	88.72	122.02	182.55
	90	7.58	7575.00	68.18	192.10	5.51	66.12	182.11	250.28	374.21

หมายเหตุ :

* ราคาเศษเหล็ก 9.00 - 12.00 บาท/กิโลกรัม

ที่มา: โดยการสอบถามจากผู้ประกอบการรับซื้อเศษเหล็ก ณ.วันที่ 22 เมษายน 2548 จำนวน 3 ราย

**ราคาเหล็กตามมาตรฐาน 25.36 - 26.00 บาท/กิโลกรัม (กรมการค้าภายในประกาศราคาแนะนำประจำเดือนธันวาคม 2547)

ที่มา : กรมการค้าภายใน, 2547

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปาริชาติ หมิ่นสีทา เกิดเมื่อวันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดลพบุรี สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จากมหาวิทยาลัย รามคำแหง เมื่อปี พ.ศ. 2546 และเข้าศึกษาในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย